

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXPULSIÓN DE BOBINAS PARA LA  
MÁQUINA CORTADORA TITAN ER610**

**JAIME CUTIVA PIÑEROS  
LUIS FELIPE LOAIZA DUQUE**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA  
PROGRAMA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
SANTIAGO DE CALI  
2014**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXPULSIÓN DE BOBINAS PARA LA  
MÁQUINA CORTADORA TITAN ER610**

**JAIME CUTIVA PIÑEROS  
LUIS FELIPE LOAIZA DUQUE**

**Pasantía institucional para optar los títulos de  
Ingeniero Mecatrónico, Electrónico y Telecomunicaciones  
respectivamente**

**Director:  
HECTOR FABIO ROJAS  
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA  
PROGRAMA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
SANTIAGO DE CALI  
2014**

## **Nota de aceptación**

**Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatrónico, Ingeniero Electrónico y de Telecomunicaciones respectivamente.**

**BERNARDO ROGER SABOGAL**

---

**Jurado**

**Santiago de Cali. 3 de Octubre del 2014**

## **CONTENIDO**

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>GLOSARIO</b>   | <b>19</b>   |
| <b>RESUMEN</b>  | <b>20</b>   |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                     | <b>21</b>   |
| <b>1      MARCOS DE REFERENCIA</b>                      | <b>24</b>   |
| <b>1.1    MARCO TEÓRICO</b>                             | <b>24</b>   |
| <b>1.1.1   Modelado y análisis de elementos finitos</b> | <b>26</b>   |
| <b>1.1.2   Cálculo de actuadores</b>                    | <b>30</b>   |
| <b>1.1.3   Protocolo GEMMA</b>                          | <b>34</b>   |
| <b>2      PROBLEMA DE INVESTIGACION</b>                 | <b>36</b>   |
| <b>2.1    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>                | <b>36</b>   |
| <b>3      JUSTIFICACIÓN</b>                             | <b>38</b>   |
| <b>4      OBJETIVOS</b>                                 | <b>41</b>   |
| <b>4.1    OBJETIVO GENERAL</b>                          | <b>41</b>   |
| <b>4.2    OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>                     | <b>41</b>   |
| <b>4.3    ALCANCE DEL PROYECTO</b>                      | <b>41</b>   |
| <b>5      ANTECEDENTES</b>                              | <b>42</b>   |
| <b>6      LISTA DE NECESIDADES DEL CLIENTE</b>          | <b>45</b>   |

|                |  |           |
|----------------|--|-----------|
| <b>7</b>       | <b>MÉTRICAS Y SUS UNIDADES</b>                                     | <b>46</b> |
| <b>8</b>       | <b>Q.F.D.</b>  | <b>48</b> |
| <b>8.1</b>     | <b>NECESIDADES VS. REQUERIMIENTOS</b>                              | <b>48</b> |
| <b>8.2</b>     | <b>RELACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS</b>                              | <b>49</b> |
| <b>8.3</b>     | <b>NECESIDADES CON RESPECTO A LOS COMPETIDORES</b>                 | <b>50</b> |
| <b>8.4</b>     | <b>REQUERIMEINTOS CON RESPECTO A LOS COMPETIDORES</b>              | <b>51</b> |
| <b>9</b>       | <b>ANÁLISIS DE NECESIDADES Y LOS REQUERIMIENTOS</b>                | <b>52</b> |
| <b>10</b>      | <b>GENERACIÓN DE CONCEPTOS</b>                                     | <b>57</b> |
| <b>10.1</b>    | <b>DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL</b>                                    | <b>57</b> |
| <b>10.2</b>    | <b>SUBFUNCIONES</b>  | <b>57</b> |
| <b>10.3</b>    | <b>CONCEPTOS GENERADOS</b>   | <b>58</b> |
| <b>10.3.1</b>  | <b>Recibir energía eléctrica/aire comprimido</b>                   | <b>58</b> |
| <b>10.3.2</b>  | <b>Distribuir energía eléctrica/aire comprimido</b>                | <b>59</b> |
| <b>10.3.3</b>  | <b>Convertir energía eléctrica/aire comprimido en Energía Mecá</b> | <b>59</b> |
| <b>10.3.4</b>  | <b>Censar posición adecuada del Ayudante Mecánico (A.M.)</b>       | <b>59</b> |
| <b>10.3.5</b>  | <b>Censar presencia del operario en área de riesgo</b>             | <b>60</b> |
| <b>10.3.6</b>  | <b>Censar posición inicial y final del actuador</b>                | <b>60</b> |
| <b>10.3.7</b>  | <b>Almacenar variable</b>  | <b>60</b> |
| <b>10.3.8</b>  | <b>Paleta para mover bobinas</b>                                   | <b>60</b> |
| <b>10.3.9</b>  | <b>Contacto inocuo: Partes inocuas hechas de</b>                   | <b>60</b> |
| <b>10.3.10</b> | <b>Alternativas de diseño</b>                                      | <b>61</b> |

|               |   |           |
|---------------|---|-----------|
| <b>10.4</b>   | <b>EVALUACIÓN DE LA COMBINACIÓN DE CONCEPTOS</b>      | <b>62</b> |
| <b>10.5</b>   | <b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>                     | <b>63</b> |
| <b>10.6</b>   | <b>SELECCIÓN DETALLADA DE CONCEPTOS</b>               | <b>64</b> |
| <b>11</b>     | <b>ARQUITECTURA DEL PRODUCTO</b>                      | <b>66</b> |
| <b>11.1</b>   | <b>ARQUITECTURA DEL PRODUCTO</b>                      | <b>66</b> |
| <b>11.2</b>   | <b>ARQUITECTURA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA</b>           | <b>67</b> |
| <b>11.3</b>   | <b>ARQUITECTURA MECÁNICA</b>                          | <b>67</b> |
| <b>11.4</b>   | <b>FUNCIONALIDAD DE LOS ELEMENTOS FÍSICOS</b>         | <b>68</b> |
| <b>11.5</b>   | <b>INTERACCIÓN ENTRE MÓDULOS</b>                      | <b>68</b> |
| <b>12</b>     | <b>PROTOTIPADO</b>                                    | <b>69</b> |
| <b>13</b>     | <b>DISEÑO INDUSTRIAL</b>                              | <b>70</b> |
| <b>13.1</b>   | <b>NECESIDADES ERGONÓMICAS</b>                        | <b>70</b> |
| <b>13.1.1</b> | <b>Evaluación de las necesidades ergonómicas</b>      | <b>70</b> |
| <b>13.2</b>   | <b>NECESIDADES ESTÉTICAS</b>                          | <b>71</b> |
| <b>13.2.1</b> | <b>Evaluación de las necesidades estéticas</b>        | <b>71</b> |
| <b>13.3</b>   | <b>VALORACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL</b>               | <b>71</b> |
| <b>13.4</b>   | <b>CLASIFICACIÓN DE LA NATURALEZA DEL PRODUCTO</b>    | <b>72</b> |
| <b>13.5</b>   | <b>EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL DISEÑO INDUSTRIAL</b> | <b>72</b> |
| <b>13.5.1</b> | <b>Buena apariencia</b>                               | <b>72</b> |
| <b>13.5.2</b> | <b>Normas ergonómicas y de seguridad industrial</b>   | <b>73</b> |
| <b>13.5.3</b> | <b>Arquitectura modular</b>                           | <b>73</b> |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 13.5.4 | Sistema semiautomático                         | 73 |
| 13.5.5 | Manual de mantenimiento                        | 73 |
| 13.6   | Valoración de la calidad del diseño industrial | 73 |
| 14     | DISEÑO PARA MANUFACTURA (DPM)                  | 74 |
| 14.1   | TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN                         | 76 |
| 14.2   | ESTIMACIÓN DE COSTOS                           | 76 |
| 14.2.1 | Sistema mecánico                               | 77 |
| 14.2.2 | Sistema eléctrico                              | 78 |
| 14.2.3 | Sistema neumático                              | 79 |
| 14.3   | COSTO TOTAL                                    | 79 |
| 15     | DISEÑO PARA MANTENIMIENTO                      | 81 |
| 15.1   | DISEÑO PARA LA SEGURIDAD INDUSTRIAL            | 81 |
| 16     | DISEÑO PARA EL MEDIO AMBIENTE                  | 83 |
| 16.1   | INVENTARIO                                     | 83 |
| 16.1.1 | Lista de materiales                            | 83 |
| 16.1.2 | Ciclo de vida del producto                     | 84 |
| 16.2   | EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL               | 85 |
| 16.2.1 | Expulsión                                      | 85 |
| 16.2.2 | Control  | 85 |
| 17     | DISEÑO DETALLADO                               | 86 |

|               |  |            |
|---------------|--|------------|
| <b>17.1</b>   | <b>CONSIDERACIONES DEL DISEÑO</b>                                | <b>86</b>  |
| <b>17.2</b>   | <b>ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA</b>               | <b>86</b>  |
| <b>17.3</b>   | <b>ECUACIONES MATEMÁTICAS A TENER EN CUENTA</b>                  | <b>87</b>  |
| <b>17.4</b>   | <b>DISEÑO DE MECANISMO PARA MEDIR FUERZA</b>                     | <b>88</b>  |
| <b>17.4.1</b> | <b>Análisis de mecanismo para medir fuerza</b>                   | <b>88</b>  |
| <b>17.5</b>   | <b>DISEÑO PARA SELECCIÓN DE PISTÓN</b>                           | <b>91</b>  |
| <b>17.5.1</b> | <b>Análisis para selección de pistón</b>                         | <b>93</b>  |
| <b>17.6</b>   | <b>DISEÑO DE BRAZO EXPULSOR</b>                                  | <b>94</b>  |
| <b>17.6.1</b> | <b>. Análisis de brazo expulsor</b>                              | <b>97</b>  |
| <b>17.6.2</b> | <b>Análisis estructural del mecanismo</b>                        | <b>98</b>  |
| <b>17.7</b>   | <b>DISEÑO DE RESORTE DE RETENEDOR</b>                            | <b>103</b> |
| <b>17.8</b>   | <b>DISEÑO DE LA RED NEUMÁTICA</b>                                | <b>104</b> |
| <b>17.8.1</b> | <b>Cálculo del consumo de aire del cilindro de doble efecto</b>  | <b>104</b> |
| <b>17.9</b>   | <b>DISEÑO DEL CONTROLADOR</b>                                    | <b>107</b> |
| <b>17.9.1</b> | <b>Diseño propuesto para el panel de control</b>                 | <b>107</b> |
| <b>17.9.2</b> | <b>GRAFCET de primer nivel</b>                                   | <b>109</b> |
| <b>17.9.3</b> | <b>GRAFCET para funcionamiento automático</b>                    | <b>109</b> |
| <b>17.9.4</b> | <b>GRAFCET para funcionamiento manual</b>                        | <b>111</b> |
| <b>17.9.5</b> | <b>GRAFCET para condiciones iniciales</b>                        | <b>112</b> |
| <b>17.9.6</b> | <b>GRAFCET para indicadores de funcionamiento y advertencias</b> | <b>113</b> |
| <b>17.9.7</b> | <b>Estados del GEMMA</b>   | <b>115</b> |
| <b>17.9.8</b> | <b>Diagrama básico de interacción</b>                            | <b>117</b> |



|           |                                 |            |
|-----------|---------------------------------|------------|
| <b>18</b> | <b>ANALISIS COSTO-BENEFICIO</b> | <b>118</b> |
| <b>19</b> | <b>CONCLUSIONES</b>             | <b>120</b> |
|           | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>             | <b>121</b> |
|           | <b>ANEXOS</b>                   | <b>123</b> |

## **LISTA DE GRAFICAS**

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>Gráfica 1. Importancia de las necesidades en la QFD</b>    | <b>52</b>   |
| <b>Gráfica 2. Importancia de los requerimientos en la QFD</b> | <b>53</b>   |
| <b>Gráfica 3. Benchmarking de las necesidades</b>             | <b>54</b>   |
| <b>Gráfica 4. Porcentaje de importancia</b>                   | <b>55</b>   |
| <b>Gráfica 5. Benchmarking de los requerimientos</b>          | <b>56</b>   |
| <b>Gráfica 6. Comprobación de la evaluación de conceptos</b>  | <b>64</b>   |

## LISTA DE CUADROS

|  | Pág.       |
|--|------------|
| <b>Cuadro 1. Tiempos estimados de expulsión</b>                  | <b>38</b>  |
| <b>Cuadro 2. Flujo de fondos de 180 días</b>                     | <b>39</b>  |
| <b>Cuadro 3. Lista de necesidades</b>                            | <b>45</b>  |
| <b>Cuadro 4. Lista de necesidades, requerimientos y métricas</b> | <b>46</b>  |
| <b>Cuadro 5. Necesidades vs. Requerimientos</b>                  | <b>48</b>  |
| <b>Cuadro 6. Principales alternativas de diseño</b>              | <b>61</b>  |
| <b>Cuadro 7. Método de selección de conceptos</b>                | <b>62</b>  |
| <b>Cuadro 8. Selección detallada de conceptos</b>                | <b>65</b>  |
| <b>Cuadro 9. Arquitectura del producto</b>                       | <b>66</b>  |
| <b>Cuadro 10. Funcionalidad de los elementos físicos.</b>        | <b>68</b>  |
| <b>Cuadro 11. Necesidades ergonómicas</b>                        | <b>70</b>  |
| <b>Cuadro 12. Necesidades Estéticas</b>                          | <b>71</b>  |
| <b>Cuadro 14. Costo de materiales para sistema mecánico</b>      | <b>77</b>  |
| <b>Cuadro 15. Costo de proceso maquilado</b>                     | <b>78</b>  |
| <b>Cuadro 16. Costo sistema eléctrico y electrónico</b>          | <b>78</b>  |
| <b>Cuadro 17. Costo sistema neumático</b>                        | <b>79</b>  |
| <b>Cuadro 18. Costo total del sistema</b>                        | <b>79</b>  |
| <b>Cuadro 19. Especificaciones para el desarrollo del diseño</b> | <b>86</b>  |
| <b>Cuadro 20. Resultados de 8 muestras</b>                       | <b>90</b>  |
| <b>Cuadro 21. Lista de elementos</b>                             | <b>108</b> |
| <b>Cuadro 22. Evaluación del proyecto del mes 1 al 15</b>        | <b>118</b> |



## **LISTA DE TABLAS**

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>Tabla 1. Valoración del diseño industrial</b>               | <b>71</b>   |
| <b>Tabla 2. Valoración de la calidad del diseño industrial</b> | <b>73</b>   |

## LISTAS DE FIGURAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>Figura 1. Empaques flexibles</b>  | <b>21</b>   |
| <b>Figura 2. Proceso de transformación de bobinas</b>                          | <b>22</b>   |
| <b>Figura 3. Proceso de corte y rebobinado en la máquina TITAN</b>             | <b>22</b>   |
| <b>Figura 4. Ayudante mecánico</b>   | <b>23</b>   |
| <b>Figura 5. Estructura del marco teórico del proyecto</b>                     | <b>25</b>   |
| <b>Figura 6. Ejemplo de fuerzas puntuales sobre la superficie de un sólido</b> | <b>27</b>   |
| <b>Figura 7. Ejemplo de esfuerzos normales</b>                                 | <b>27</b>   |
| <b>Figura 8. Ejemplo de un esfuerzo</b>  | <b>28</b>   |
| <b>Figura 9. Representación de un elemento de una pieza</b>                    | <b>29</b>   |
| <b>Figura 10. Etapas de análisis de elementos finitos</b>                      | <b>29</b>   |
| <b>Figura 11. Ejemplo cilindro neumático</b>                                   | <b>31</b>   |
| <b>Figura 12. Ejemplo de cilindro eléctrico</b>                                | <b>31</b>   |
| <b>Figura 13. Consumo de aire</b>  | <b>33</b>   |
| <b>Figura 14. Ejemplo de mala postura</b>                                      | <b>36</b>   |
| <b>Figura 15. Sistema de expulsión - TITAN SR9-DS</b>                          | <b>42</b>   |
| <b>Figura 16. Sistema de expulsión - PROSLIT EIKON</b>                         | <b>43</b>   |
| <b>Figura 17. Sistema de expulsión – TEMAC TTS 160/180</b>                     | <b>44</b>   |
| <b>Figura 18. Sistema expulsor - Slitter Rewinder X9</b>                       | <b>44</b>   |
| <b>Figura 19. Relación de los diferentes requerimientos</b>                    | <b>49</b>   |
| <b>Figura 20. Benchmarking de las necesidades</b>                              | <b>50</b>   |
| <b>Figura 21. Benchmarking de los requerimientos</b>                           | <b>51</b>   |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figura 22. Caja negra del sistema</b>                                     | <b>57</b> |
| <b>Figura 23. Descomposición funcional del sistema</b>                       | <b>58</b> |
| <b>Figura 24. Arquitectura Electrónica</b>                                   | <b>67</b> |
| <b>Figura 25. Arquitectura Mecánica</b>                                      | <b>67</b> |
| <b>Figura 26. Interacción entre módulos</b>                                  | <b>68</b> |
| <b>Figura 27. Diferentes prototipos de desarrollar</b>                       | <b>69</b> |
| <b>Figura 28. Naturaleza del producto</b>                                    | <b>72</b> |
| <b>Figura 29. Diseño final del proyecto</b>                                  | <b>74</b> |
| <b>Figura 30. Estructura soportada en la guía del pistón, vista completa</b> | <b>75</b> |
| <b>Figura 31. Estructura explosionada, parte superior</b>                    | <b>75</b> |
| <b>Figura 32. Estructura explosionada, parte inferior</b>                    | <b>75</b> |
| <b>Figura 33. Tiempos de construcción del sistema</b>                        | <b>76</b> |
| <b>Figura 34. Chasis antiestática</b>  | <b>87</b> |
| <b>Figura 35. Primera propuesta</b>  | <b>89</b> |
| <b>Figura 36. Segunda propuesta</b>  | <b>89</b> |
| <b>Figura 37. Diferentes vistas del diseño final</b>                         | <b>89</b> |
| <b>Figura 38. Propuesta para estabilidad de plataforma del actuador</b>      | <b>92</b> |
| <b>Figura 39. Diseño final del sistema (pistón neumático en color rojo)</b>  | <b>92</b> |
| <b>Figura 40. Primera propuesta</b>  | <b>95</b> |
| <b>Figura 41. Segunda propuesta</b>  | <b>95</b> |
| <b>Figura 42. Tercera propuesta</b>  | <b>96</b> |
| <b>Figura 43. Diseño final</b>   | <b>96</b> |
| <b>Figura 44. Estructura final</b>   | <b>97</b> |
| <b>Figura 45. Vistas del mecanismo</b>                                       | <b>98</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Figura 46. Visualización del brazo en la guía (pieza resaltada en rojo)</b> | <b>99</b>  |
| <b>Figura 47. Dirección de fuerza y área de empotramiento</b>                  | <b>99</b>  |
| <b>Figura 48. Resultados de esfuerzo de Von Mises</b>                          | <b>100</b> |
| <b>Figura 49. Resultados del desplazamiento de la pieza</b>                    | <b>100</b> |
| <b>Figura 50. Estudio de esfuerzos Von Mises de la estructura</b>              | <b>101</b> |
| <b>Figura 51. Estudio de esfuerzos Von Mises de la estructura</b>              | <b>102</b> |
| <b>Figura 52. Estudio de esfuerzos Von Mises de la estructura</b>              | <b>102</b> |
| <b>Figura 53. Resorte del retenedor o seguro</b>                               | <b>103</b> |
| <b>Figura 54. Gráfica consumo específico</b>                                   | <b>104</b> |
| <b>Figura 55. Plano red neumático</b>  | <b>105</b> |
| <b>Figura 56. Gráfica para el cálculo del diámetro nominal</b>                 | <b>106</b> |
| <b>Figura 57. Panel de control</b>   | <b>107</b> |
| <b>Figura 58. GRAFCET de primer nivel</b>                                      | <b>109</b> |
| <b>Figura 59. GRAFCET de segundo nivel</b>                                     | <b>110</b> |
| <b>Figura 60. Puesta en marcha</b>   | <b>111</b> |
| <b>Figura 61. Condiciones iniciales</b>  | <b>113</b> |
| <b>Figura 62. Indicadores y advertencias</b>                                   | <b>114</b> |
| <b>Figura 63. Protocolo GEMMA</b>  | <b>115</b> |
| <b>Figura 64. Esquema de funcionamiento eléctrico</b>                          | <b>117</b> |



## LISTA DE ANEXOS

|  | Pág. |
|--|------|
| Anexo A. Formato de encuesta                                   | 123  |
| Anexo B. QFD   | 125  |
| Anexo C. Tornillo de mecanismo para medir fuerza               | 126  |
| Anexo D. Superficie de contacto de mecanismo para medir fuerza | 127  |
| Anexo E. Placa de mecanismo para medir fuerza                  | 128  |
| Anexo F. Resorte de mecanismo para medir fuerza                | 129  |
| Anexo G. Eje guía de mecanismo para medir fuerza               | 130  |
| Anexo H. Brazo   | 131  |
| Anexo I. Retenedor   | 132  |
| Anexo J. Resorte del retenedor                                 | 133  |
| Anexo K. Copa para retenedor                                   | 134  |
| Anexo L. Rigidizador dos                                       | 135  |
| ANEXO M. Rigidizador uno                                       | 136  |
| Anexo N. Guía para Brazo                                       | 137  |
| Anexo O. Perlín  | 138  |
| Anexo P. Base para perlín soldado                              | 139  |
| Anexo Q. Tornillo  | 140  |
| Anexo R. Tapa de perlín  | 141  |
| Anexo S. Cobertura de brazo                                    | 142  |
| Anexo T. Cotización de partes                                  | 143  |
| Anexo U. Cotización de partes neumáticas                       | 144  |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Anexo V. Manual de funcionamiento del sistema expulsor de bobinas</b> | <b>145</b> |
| <b>Anexo W. Manual de mantenimiento</b>                                  | <b>148</b> |
| <b>Anexo X. Guía técnica MICRO para selección de pistón neumático</b>    | <b>151</b> |

## GLOSARIO

**BOBINA:** cilindro de hilo, cordel, lámina, etc., arrollado en torno a un canuto de cartón u otra materia.

**BRAZO MECÁNICO O HANDLING:** mecanismo que recibe y soporta las bobinas que son expulsadas de la máquina cortadora.

**CORE:** cilindro de cartón que sirve para enrollar las bobinas.

**E-B-R-M:** con base a requerimiento y métrica.

**GRIPPER:** herramienta posterior al actuador (Pinza, palanca, paleta, entre otras).

**IMPACTO MECÁNICO:** golpe realizado con ayuda de una porra.

**MALLA:** tejido de nodos entrelazados que une a los elementos que conforman un sólido. Sirve para determinar el tamaño del elemento más pequeño del modelo y reconstruirlo después de hacer un análisis.

**PARETO 80/20:** método de ingeniería para priorización de problemas a resolver, donde se dice que en un 20% de todos los problemas de un proceso se consume un 80% de los costos de producción.

## RESUMEN

En éste documento se muestra la información necesaria que guiará al lector para el desarrollo del diseño de un sistema de expulsión de bobinas segmentadas para la máquina cortadora TITAN. Se expone como resultado de la pasantía institucional realizada en la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S.

Con un sistema semiautomático especialmente diseñado para mover rollos de material con un peso de 120 kg, se resolvieron los problemas ergonómicos que incomodaban continuamente al personal que opera la máquina TITAN. También se tuvo en cuenta la relación costo-beneficio, dándole así mayor relevancia al proyecto desde el punto de vista financiero.

Por medio del método de diseño concurrente, se elaboraron distintas tareas que permitieron rediseñar el sistema a lo largo de su desarrollo con el fin de optimizar su funcionalidad en el área que se va a desempeñar.

Partiendo de los resultados del análisis de la QFD (casa de la calidad) y terminando por un diseño detallado del sistema, se brindan los datos y el desarrollo necesario para determinar la eficacia del producto.

Adicionalmente, el proyecto viene acompañado de cinco enfoques de diseño que son: arquitectura del producto, industrial, para manufactura, mantenimiento y medioambiental. Estos enfoques permiten que la máquina sea un producto versátil, ergonómico y amigable con el medio. Además, se estiman los costos preliminares de los elementos del sistema y posteriormente el costo total y aproximado de la máquina.

Finalmente, se trabajó la parte de mayor dificultad que fué el diseño detallado del producto, donde se realizaron pruebas y simulaciones de cada uno de los sistemas de la máquina, incluyendo la parte mecánica y de control.

**Palabras claves:** Bobinas segmentadas, máquina TITAN, método de diseño concurrente, resultados.

## INTRODUCCIÓN

La empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S produce y comercializa empaques, envolturas y etiquetas flexibles (Figura 1) usados en una gran variedad de productos de consumo masivo; provenientes de industrias colombianas y del exterior. Con éstos no sólo se protegen y mantienen las características de los productos, sino que también se logra transmitir al consumidor, la información necesaria para su uso y consumo.

En la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S, uno de los productos finales que se obtienen son las bobinas. Éstas son rollos de material usados en otras empresas para empaclar o etiquetar alimentos o productos de aseo.

**Figura 1. Empaques flexibles**



**Fuente:** PLASTHERM. Empaques para alimentos. [En línea]. [Consultado el: 11 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: < <http://www.plastherm.com.mx/empaques-para-alimentos.aspx> >

Existen tres áreas principales que se encargan de su fabricación:

**Figura 2. Proceso de transformación de bobinas en EMPAQUES FLEXA S.A.S**



**Fuente:** ATLAS-TITAN. Compact Slitter Rewinder. [En línea]. [Consultado el: 5 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <[http://youtu.be/uSsZ7si\\_ym0](http://youtu.be/uSsZ7si_ym0)>

En la Figura 2 se muestra del proceso de transformación de bobinas: inicia por el área de impresos y plastificado, en el cual se reciben las bobinas en un material en blanco para realizar la impresión y plastificación respectivamente. Después de impresas, las etiquetas no abarcan la totalidad del ancho de la bobina presentando subdivisiones de la misma, es decir, queda material sobrante, por lo tanto, en el área de corte y rebobinado se reciben las bobinas impresas para ser segmentadas y enrolladas de nuevo sobre varios tubos de cartón llamados core (véase glosario) de acuerdo con las necesidades de los clientes. Por último, se llevan las bobinas segmentadas al área de empaque para ser pesadas, registradas y empaçadas para su posterior despacho.

Dentro del área de corte y rebobinado se encuentra la máquina, la cual tiene dos lados de trabajo para el operario, y cuenta con 4 etapas principales para el corte de la bobina impresa y plastificada (Figura 3).

**Figura 3. Proceso de corte y rebobinado en la máquina TITAN**



**Fuente:** ATLAS-TITAN. TITAN Compact Slitter Rewinder. [En línea]. [Consultado el: 5 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <[http://youtu.be/uSsZ7si\\_ym0](http://youtu.be/uSsZ7si_ym0)>

En la Figura 3 se muestra como en un lado de la máquina cortadora, el operario trabaja para realizar la etapa de montaje de bobina impresa y plastificada, luego, en el otro lado de la máquina se realiza la etapa de montaje de los *core's* para rebobinar, posterior a esto, en la etapa de corte y rebobinado se corta el material de la bobina impresa y plastificada para rebobinar el material sobre los respectivos *core's*. Por último, se realiza la etapa de expulsión manual por parte del operario de las bobinas segmentadas hacia el mecanismo llamado ayudante mecánico (Figura 4).

**Figura 4. Ayudante mecánico**



**Fuente:** ATLAS – TITAN. Ayudante mecánico [En línea]. [Consultado el: 20 de Marzo del 2014, editado el 21 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.atlasconverting.com/solutions/view/sr9-ds>>

En los últimos años la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S se ha preocupado por los altos índices de accidentalidad relacionados con la seguridad industrial. La etapa de expulsión de bobinas segmentadas mostrada en la Figura 3, es una de las más críticas, pues se evidencian los inconvenientes del operario para llevar a cabo su trabajo. Para reducir éste tipo de índices, la empresa propuso la necesidad de desarrollar un proyecto que presente el diseño de un sistema de expulsión en la máquina que prevenga los riesgos de enfermedades laborales por malas posturas y sobreesfuerzos, además que minimice retrasos en producción y de cumplimiento a las normas de seguridad e inocuidad.

# 1 MARCOS DE REFERENCIA

## 1.1 MARCO TEÓRICO

Hasta en la actualidad, la industria ha sido testigo de incontables avances en el tema de la automatización industrial, debido al mercado en que se encuentra, se exige cada vez más eficiencia de su producción, haciéndola experimentar acelerados cambios para sobrevivir en medio de la alta competitividad. La implementación de la automatización industrial, tiene dos propósitos principales: el primero es ser un punto de referencia en un mercado específico a seguir y el segundo; cumplir con las necesidades del mercado para el cual fue explícitamente diseñado.

Dentro del marco del problema de éste proyecto se encuentra la siguiente pregunta: ¿Cómo diseñar un sistema de expulsión de bobinas segmentadas para la máquina cortadora TITAN? deducida del planteamiento del problema. Debido a la complejidad de abordar esta última pregunta de forma directa, se considera más viable dividir el problema planteado como se muestra a continuación:

¿Cómo diseñar un mecanismo o gripper (véase glosario) para la expulsión de bobinas segmentadas para la máquina cortadora TITAN?

¿Cómo diseñar un mecanismo que movilice al gripper para la expulsión de bobinas segmentadas para la máquina cortadora TITAN?

¿Cómo diseñar un mecanismo de control industrial para la expulsión de bobinas segmentadas para la máquina cortadora TITAN?

La determinación de cada uno de estos problemas es clave para cada una de sus correspondientes hipótesis, así:<sup>1</sup>

El diseño de gripper para la expulsión de bobinas segmentadas para la máquina cortadora TITAN está directamente relacionado con el modelado y análisis de elementos finitos mediante software CAD.

El diseño de un mecanismo que movilice al gripper para la expulsión de bobinas segmentadas para la máquina cortadora TITAN está directamente relacionado con el cálculo de actuadores neumáticos.

---

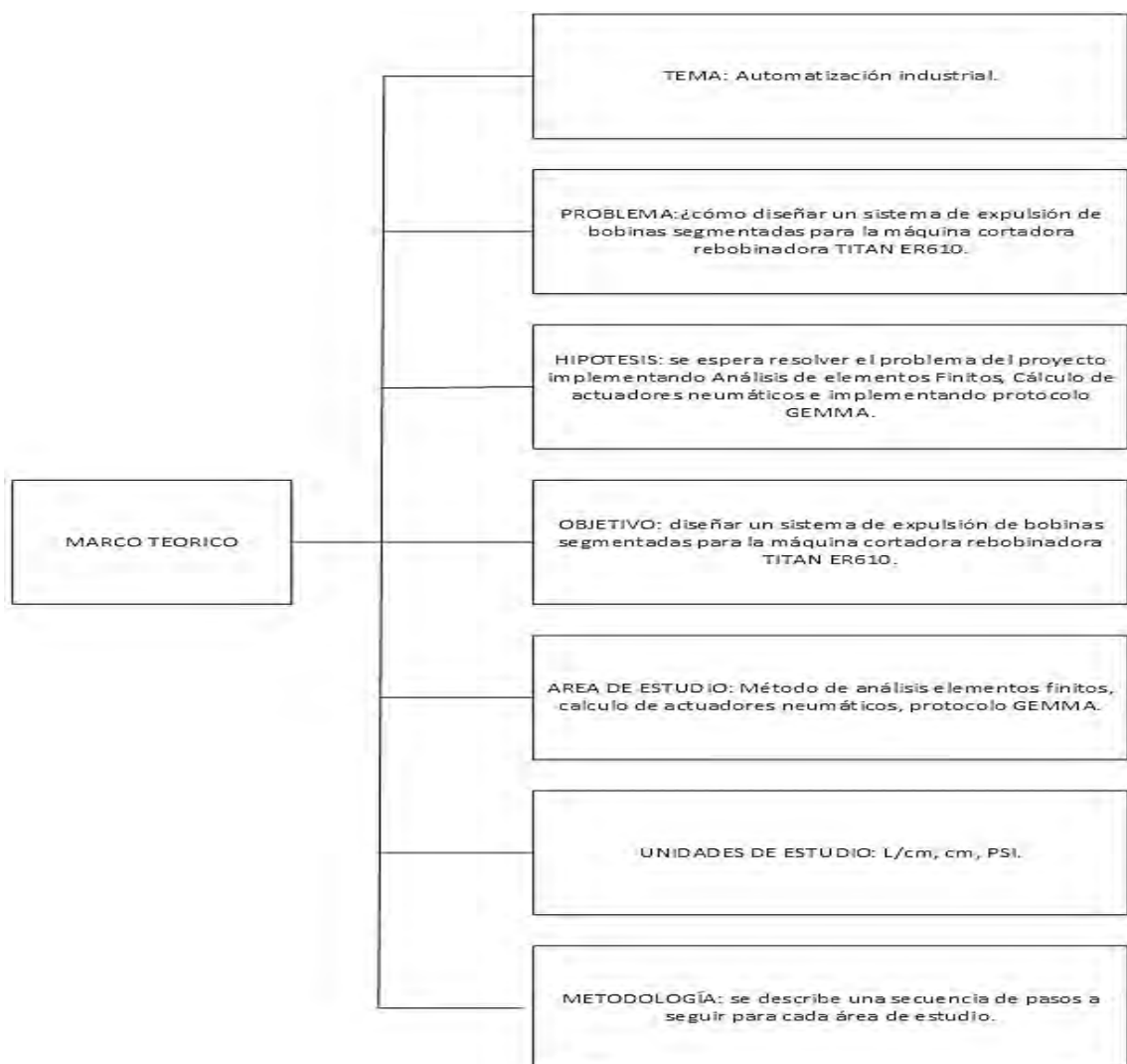
<sup>1</sup> SAMPIERI, Hernandez, y otros. Capítulo 5: Formulación de hipótesis. Mexico : Mc Graw Hill, 1997.



El diseño de un mecanismo de control industrial para la expulsión de bobinas segmentadas para la máquina cortadora TITAN está directamente relacionado con el protocolo GEMMA.

Se definieron las diferentes áreas de estudio en el proyecto con el objeto general de diseñar un sistema de expulsión de bobinas segmentadas para la máquina cortadora TITAN. El cual hasta el momento contaba con modelado y análisis de elementos finito mediante software CAD, cálculo de actuadores neumáticos y protocolo GEMMA. A pesar de que se pueden lograr varias hipótesis de los problemas 1, 2 y 3 se perderían de perspectiva algunos factores importantes como la disponibilidad de recursos ya existentes, como es el caso del software SolidWorks®, el PLC GE Fanuc VersaMax™ e instalaciones ampliables de aire comprimido en el área de corte de la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S.

**Figura 5. Estructura del marco teórico del proyecto**



Para lograr afianzar las hipótesis planteadas anteriormente, se requiere disponer de una metodología en la que se pudiese respaldar con una teoría a cada una de ellas como se muestra a continuación:

#### **1.1.1 Modelado y análisis de elementos finitos mediante software CAD.**

Los objetivos principales del análisis de elementos finitos es encontrar las zonas críticas del modelo en donde podría comenzar a fallar a causa de esfuerzos específicos y determinar su máxima tolerancia para éste, según su aplicación.<sup>1</sup>

Para entender la relevancia del análisis de elementos finitos en el proyecto, se muestran generalidades teóricas y un ejemplo del procedimiento a seguir:<sup>2</sup>

**1.1.1.1 Generalidades de la Teoría de análisis de elementos finitos.** “La mecánica de sólidos estudia los fenómenos de las fuerzas que se generan dentro de un cuerpo para equilibrar el efecto de las fuerzas aplicadas externamente”<sup>3</sup>. Con el propósito de encontrar la relación de las deformaciones y los esfuerzos.

El esfuerzo es una magnitud vectorial y para efectos prácticos es una fuerza interna de un sólido que se equilibra con fuerzas que se están aplicando sobre su superficie (véase Figura 6). Su efecto es puntual y se puede aplicar sobre una superficie basándose en la segunda ley de Newton.

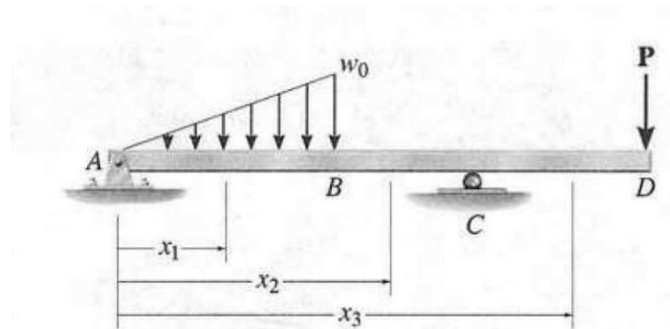
---

<sup>1</sup> ALCANIZ, Maria de los Ángeles Miguel. Modelado y analisis por elementos finitos de un eje ferroviario hueco usando Pro-Engineer: Resumen. Trabajo de grado [para obtener el titulo de ingeniera industrial] Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2011, pág. 9.

<sup>2</sup> O.C. ZIENKIEWICS. El método de elementos finitos. Editorial Reverté. 1982.

<sup>3</sup> MENDEZ, Everardo Jorge Boroja. Análisis estructural y diseño preliminar opto-mecánico del instrumento RATIR: Mecanica de solidos. Trabajo de grado [para obtener el titulo de ingeniero mecatrónico]. México D.F. : Universidad Nacional Autonoma de México, 2010, pág. 25

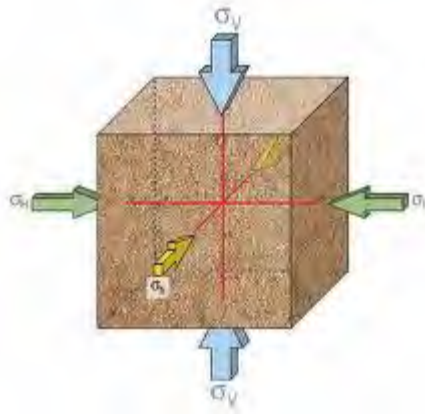
**Figura 6. Ejemplo de fuerzas puntuales sobre la superficie de un sólido**



**Fuente:** EJEMPLO. Ejemplo de esfuerzos puntuales y distribuidos. [En línea]. [Consultado el: 20 de Marzo del 2014, editado el 21 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.eumed.net/libros-gratis/ciencia/2013/14/teorema-castigliano.html>>

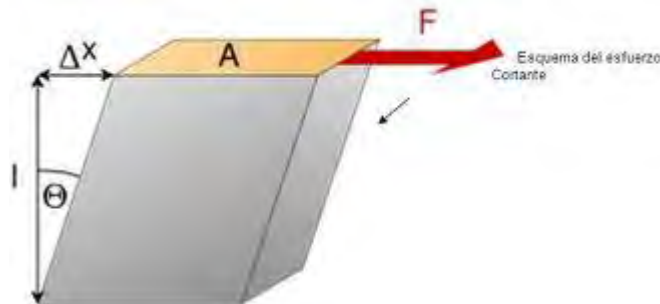
Existen dos tipos de esfuerzos: esfuerzos normales o de tracción (véase Figura 7), que son aquellos que se aplican en orientación perpendicular a la superficie, y los esfuerzos cortantes (véase Figura 8) que tienen orientación tangencial a la superficie.

**Figura 7. Ejemplo de esfuerzos normales**



**Fuente:** EJEMPLO. Ejemplo de esfuerzos normales. [En línea]. [Consultado el: 20 de Marzo del 2014, editado el 21 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <<http://fluidos.eia.edu.co/fluidos/tension/tension.html>>.

**Figura 8. Ejemplo de un esfuerzo cortante producido por una fuerza externa**



**Fuente:** EJEMPLO. Ejemplo de esfuerzos normales. [En línea]. [Consultado el: 20 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4070035/lecciones/cap2/cap2.htm>>.

La complejidad matemática que representa un fenómeno de deformación para predecir sus utilidades obliga al hombre a desarrollar métodos de modelamiento optimizados, dando como resultado representaciones muy aproximadas a la realidad. Todo esto ha sido posible gracias a poder de procesamiento de las computadoras.

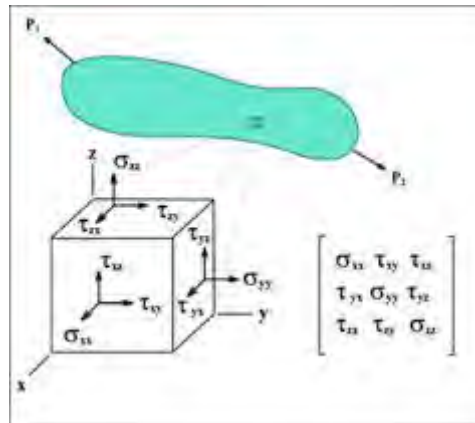
Existen dos tipos de modelamiento: modelos discretos; que cuentan con un número finito de componentes y el modelo continuo; que maneja hasta el elemento infinitesimal. En la actualidad solo es posible implementar el modelo discreto en las computadoras.

Es por esto que el método de elementos finitos (FEM por sus siglas en inglés) es un algoritmo matemático que permite resolver conjuntos de ecuaciones diferenciales parciales (EDP) tan complejas que resulta más eficiente hacerlo en el computador que a lápiz y papel.<sup>1</sup>

Cuando se requiere predecir los resultados de un fenómeno, por ejemplo: la aplicación de una carga sobre una pieza, resulta más complejo tratar de resolver la función que gobierna el fenómeno de forma directa que por componentes individuales o elementos que conforman la pieza, ya que una vez obtenidos los resultados de cada uno de los elementos se puede volver a recomponer el sistema original como se puede ver en la Figura 9.

<sup>1</sup> (MENDEZ, Everardo Jorge Borojas. Análisis estructural y diseño preliminar opto-mecánico del instrumento RATIR: Mecánica de sólidos. Trabajo de grado [para obtener el título de ingeniero mecatrónico]. México D.F. : Universidad Nacional Autónoma de México, 2010, pág. 25)

**Figura 9. Representación de un elemento de una pieza**



**Fuente:** EJEMPLO. Ejemplo de esfuerzos normales. [En línea]. [Consultado el: 20 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <<http://ciclolimite.com/2011/03/29/%C2%BFen-que-consiste-el-metodo-de-los-elementos-finitos-y-para-que-sirve/>>.

**1.1.1.2 Metodología de análisis de elementos finitos.** Para simular un fenómeno es necesario contar con la mayor cantidad de condiciones físicas reales como las restricciones, las cargas, los materiales de la pieza y las condiciones de contacto.

La implementación del método elementos finitos cuenta con tres etapas de procesamiento del fenómeno: Pre-proceso, solución, post-proceso (véase Figura 10). Esta secuencia de etapas se va ilustrar a lo largo del ejemplo de tensiones que se va a mostrar a continuación:

**Figura 10. Etapas de análisis de elementos finitos**



**Fuente:** VILLA, César Ivan Andrade. 2011. Simulación Dinámica y Análisis de Tensión. s.l. : XALAPA, VER., 2011.

En la Figura 10 se muestran las etapas del método del análisis de elementos finitos que se describe a continuación:

En la etapa de pre-proceso se pretende hacer las siguientes tareas:

- Se construye una pieza o ensamble (modelo).
- Se le dan propiedades al material del modelo.
- Se les da condiciones de contorno como cargas y soportes, las condiciones de contacto y mallas (véase glosario) aplicables.

En la etapa de solución se pretende hacer la siguiente tarea:

Para encontrar más detalles de una simulación se puede dividir el modelo en elementos más pequeños.

En la etapa de post-proceso se pretende realizar las siguientes tareas:

Se analiza y se hace una interpretación de los resultados.

Se escogen áreas de interés especial, como las áreas de debilidad del modelo.

Se detectan áreas de desperdicio de material, como las áreas del modelo que soporta poca carga o ninguna.

Se interpretan los resultados obtenidos evaluando características del rendimiento del modelo.

Confirmar su coherencia con principios de ingeniería. De no haberla, se debe retomar la etapa de pre-proceso para determinar la discrepancia.

**1.1.2 Cálculo de actuadores.** El objetivo principal del cálculo de actuadores, es determinar el máximo consumo de los elementos para que estos puedan tener una aplicación eficaz en su desempeño.

**1.1.2.1 Los actuadores neumáticos.** Se encargan de convertir el aire comprimido en trabajo, necesario para realizar aplicaciones mecánicas como: mover, cortar, coger, deformar, entre otras, con el fin de cumplir con las tareas asignadas por los sistemas de control.

**Figura 11. Ejemplo cilindro neumático**



**Fuente:** ACTUADORES NEUMÁTICOS. Cilindros con vástago. [En línea]. [Consultado el: 20 de Marzo del 2014, editado el 21 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <[http://www.festo.com/cat/es-co\\_co/products\\_010204](http://www.festo.com/cat/es-co_co/products_010204)>.

Existen dos grupos de actuadores neumáticos según su movimiento, si es lineal o giratorio:

Movimiento rectilíneo: Cilindros de simple efecto, Cilindros de doble efecto y Actuadores de carro.

Movimiento giratorio: Motor neumático, Actuador giratorio y Actuador oscilante.

**1.1.2.2 Cilindros eléctricos.** Estos cilindros presentan varias ventajas frente a los neumáticos, aunque no son rápidos, son buenos para control de posición y muy eficientes, incluso en la resolución. Los husillos de las bolas les brindan larga duración.

**Figura 12. Ejemplo de cilindro eléctrico**



**Fuente:** LINAK. Cilindro eléctrico para panel solar. [En línea]. [Consultado el: 20 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <[http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-g/cilindros-electricos-paneles-solares-7052-2598421.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/cilindros-electricos-paneles-solares-7052-2598421.jpg)>.

**1.1.2.3 Metodología de cálculo de actuadores neumáticos.** Para adaptar un cilindro neumático a las instalaciones actuales de la sección de corte de la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S. se opta por una simulación de los consumos actuales a niveles críticos y los que se van a diseñar. Para ello se necesita un método de cálculo aproximado que se debe corroborar con los métodos utilizados por docentes que dominen el tema.<sup>1</sup>

Por tanto, éste proceso cuenta con tres etapas: la etapa de selección del cilindro neumático, la etapa de cálculo de consumo de aire o caudal del cilindro neumático y la etapa de validación donde se demuestra si las instalaciones actuales soportan la adaptación de un cilindro neumático.

En la etapa de selección del cilindro neumático se pretende realizar el siguiente paso:

Obtención de las características técnicas más relevantes para el proyecto de cada cilindro como la longitud y la fuerza que puede ejercer.

En la etapa de cálculo del caudal de un cilindro neumático se pretende realizar los siguientes pasos:

Hacer una recopilación detallada de las características técnicas del fabricante del cilindro, como el diámetro interno del cilindro, el diámetro del vástago, longitud de la carrera, capacidad de ciclos por minuto y la presión.

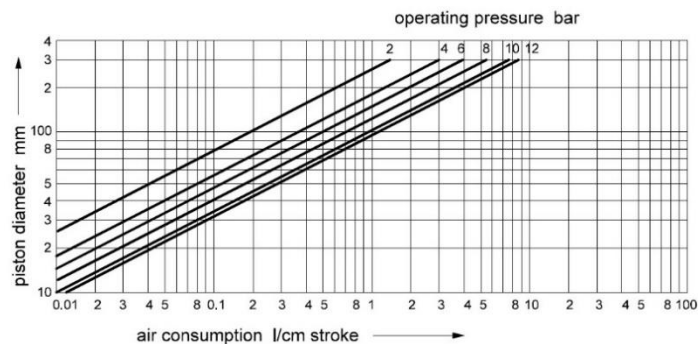
Se halla el consumo de aire por centímetro de carrera ( $q$  en litros/cm). Para hacerlo existen dos métodos aproximados: uno es usando la ficha técnica del fabricante en donde encontramos la gráfica de relación de diámetro del embolo vs consumo L/cm de carrera (véase Figura 13) y la otra es usando un cuadro de uso general para cilindros neumáticos encontrando la intercepción entre la presión vs. el diámetro del embolo.

---

<sup>1</sup>E-DUCATIVA. Calculo de fuerza, potencia y consumo de aire. [En línea]. [Consultado el: 20 de Marzo del 2014, editado el 27 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: < [http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4915/html/3\\_clculo\\_de\\_fuerza\\_potencia\\_y\\_consumo\\_de\\_aire.html](http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4915/html/3_clculo_de_fuerza_potencia_y_consumo_de_aire.html)>.



**Figura 13. Consumo de aire por centímetro de carrera vs. diámetro del embolo**



**Fuente:** NEUMÁTICA. Diagrama para cálculo de consumo específico. [En línea]. [Consultado el: 20 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <<http://automatizacionylab.wordpress.com/neumatica/>>.

Se halla el consumo de aire total para cilindros

$$Q = e \cdot n \cdot s \cdot q$$

Dónde:

Q es consumo de aire total para cilindros

e es 2 si el cilindro es de doble efecto y 1 si es de un efecto.

n es el número de ciclos por minuto.

s es la longitud de la carrera en cm.

q es el consumo de aire por centímetro de carrera

En la etapa de validación se pretendieron realizar los siguientes pasos:

Montar el modelo del circuito neumático que diseñó con sus respectivos consumos.

Verificar la coherencia de los resultados, de no haberlos, se procede a retomar la etapa de selección del cilindro neumático.

**1.1.3 Protocolo GEMMA.** El objetivo principal del protocolo GEMMA es desarrollar un cronograma de actividades de control con autómatas programables en base a estándares industriales.

**1.1.3.1 Generalidades de la teoría del protocolo GEMMA.** En la automatización industrial se necesitan prever todos los estados en lo posible como: el funcionamiento manual, el funcionamiento semiautomático, situaciones de fallo, parada de emergencia y puesta en marcha<sup>1</sup>. Con el objetivo principal de controlar la seguridad ante una situación de fallo llevando el sistema a un estado seguro.

La guía GEMMA es un estudio sistemático de todos los modos o estados en que se puede encontrar un proceso de producción automatizado teniendo en cuenta sus respectivas transiciones.

**1.1.3.2 Metodología del protocolo GEMMA.** Para aplicar la guía GEMMA se necesita cumplir con la siguiente secuencia de pasos:<sup>2</sup>

Determinar las características del proceso y realizar el Grafcet de producción normal

Seleccionar los captadores (sensores) y actuadores (accionamientos) adecuados

Realizar el Grafcet tecnológico del estado de producción normal

Estudiar y Seleccionar que estados de GEMMA son necesarios en la automatización

Definir las condiciones de evolución o transición entre los diferentes estados

Definir el panel de control (operador)

Rediseñar y Preparar el Grafcet final (o Grafcets)

Seleccionar la tecnología de control: número de autómatas programables, tipo de entradas y salidas, reguladores industriales, bus de comunicación

---

<sup>1</sup> ASENSIO, y otros, 2005 ASENSIO, Pere Ponsa y ARBÓS, Tamon VilanovaVILANOVA. Automatización de procesos mediante la guía GEMMA. s.l. : UPC, 2005, págs. 11-40.

<sup>2</sup> MONDÉGAR, José A. Rodríguez. Guía GEMMA. [En línea] [Consultado el: 10 de 03 de 2014.] Disponible en internet: [http://www.dea.icaei.upco.es/jarm/Asignaturas/AutomatizacionIndustrial\\_3itiei/trasparesncias/7gemma.pdf](http://www.dea.icaei.upco.es/jarm/Asignaturas/AutomatizacionIndustrial_3itiei/trasparesncias/7gemma.pdf).

Programar las secuencias de los Graficets

Hacer pruebas antes de la instalación del sistema

Hacer la instalación del sistema, puesta a punto y pruebas.

## 2 PROBLEMA DE INVESTIGACION

### 2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S, dedicada a la fabricación de empaques flexibles, se encuentra desarrollando estrategias de gestión y eliminación de riesgos ergonómicos, inocuidad, ambientales, de producción y seguridad para lograr acreditar la alta calidad de sus productos según los estándares internacionales de las normas ISO.

Desde Junio del 2013 se viene llevando a cabo un seguimiento correspondiente a la problemática de la expulsión de las bobinas por parte del departamento de seguridad industrial, donde exponen los riesgos que conlleva la expulsión del producto de forma manual. Las quejas de los operarios del área por las malas posturas que deben adoptar, y el ocasional atascamiento del material, que muchas veces se ve solucionado con la aplicación de fuerzas externas por medio de impacto mecánico en bobinas de 120kg, son solo algunos de los tantos problemas que llevaron a la empresa a catalogar el proyecto como de alta prioridad, queriendo dar cumplimiento a las normativas funcionales y de seguridad vigentes conforme a los parámetros de calidad.

**Figura 14. Ejemplo de mala postura**



**Fuente:** ATLAS – TITAN. Ayudante mecánico [En línea]. [Consultado el: 20 de Marzo del 2014, editado el 21 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.atlasconverting.com/solutions/view/sr9-ds>>.

Con el ánimo de eliminar los riesgos de seguridad industrial en la etapa de expulsión de bobinas segmentadas observada en la Figura 14, en el departamento de seguridad industrial de la empresa se toma en consideración la siguiente problemática: ¿Cómo eliminar los riesgos de producción y seguridad industrial en la etapa de expulsión de bobinas?. Se crean como consecuencia un conjunto de soluciones a partir de las cuales, se concluye que la mejor opción es asignar un proyecto de diseño de un sistema de expulsión de bobinas para la máquina.

En éste proyecto se buscó cumplir con todos los requerimientos de gestión y seguridad industrial anteriormente mencionados. Tomando en cuenta lo anterior, se determinó que el problema de dicho trabajo se puede presentar con la siguiente pregunta: ¿Cómo diseñar un sistema de expulsión de bobinas para la máquina cortadora?.

### 3 JUSTIFICACIÓN

En la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S en la sección de corte; la expulsión de bobinas de material segmentado de la cortadora es una tarea necesaria durante el proceso de producción de empaques flexibles. Actualmente la expulsión se realiza de forma manual. Durante dicha tarea se genera una problemática que afecta directamente la producción y sus tiempos, comprometiéndose la seguridad y la salud de los operarios del área, lo cual incrementa la probabilidad de accidentes, lesiones y enfermedades laborales causadas por malas posturas y sobreesfuerzos.

A continuación se presentan los tiempos estimados (volviendo a condiciones iniciales de expulsión) para la expulsión de las máquinas cortadoras TITAN ER610 vs TITAN SR9, teniendo en cuenta que la primera necesita una expulsión manual de las bobinas y la segunda tiene un mecanismo de expulsión automático respectivamente:

**Cuadro 1. Tiempos estimados de expulsión de bobinas segmentadas, TITAN ER610 vs TITAN SR9**

| Cortadora TITAN                         | ER610 | SR9 |
|---|-------|-----|
| Tiempo de expulsión de una bobina (s)   | 10    | -   |
| Máxima capacidad de bobinas segmentadas | 8     | 8   |
| Tiempo estimado de expulsión total (s)  | 80    | 30  |

**Fuente:** ATLAS-TITAN. TITAN Compact Slitter Rewinder, Titan SR9-DS Duplex Shaft Slitter Rewinder. [En línea]. [Consultado el: 5 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <[http://youtu.be/uSsZ7si\\_ym0](http://youtu.be/uSsZ7si_ym0)>, <<http://www.youtube.com/watch?v=gT3PmEtkVIM>>.

Como se observa en el Cuadro 1, un operario puede lograr una eficiencia aproximada del 37,5% con respecto a un sistema de expulsión automatizado; pues éste último trabaja al 100%. Esto repercute en los costos de producción de cada bobina, afectando a nivel global, el nivel de competitividad en el mercado de la EMPRESA FLEXA S.A.S.

A continuación se presentan los parámetros necesarios para hacer un estudio generalizado de un operario con enfermedad laboral vs. otro caso en que no haya enfermedad:

“De acuerdo con el Parágrafo 1° del Artículo 40 del Decreto 1406 de 1999 estarán a cargo de los respectivos empleadores las prestaciones económicas correspondientes a los tres (3) primeros días de incapacidad laboral originada por enfermedad general, tanto en el sector público como en el privado, y su monto no será diferente a las 2/3 partes del salario, esto es, el 66%, toda vez que ni el Artículo 227 del Código Sustantivo del Trabajo así como ninguna otra disposición, han establecido que los tres (3) primeros días de incapacidad serán pagaderos sobre el 100% del salario del trabajador.”<sup>9</sup>

“A partir del cuarto (4) día de incapacidad y hasta por 180 días, el reconocimiento y pago de las incapacidades corresponderá a la Empresa Promotora de Salud EPS, así: Las (2/3) partes del salario, esto es, el 66%, durante los noventa (90) días y la mitad del salario, es decir, el 50%, por el tiempo restante, según lo dispone el Artículo 227 del Código Sustantivo del Trabajo.”<sup>10</sup>

**Cuadro 2. Flujo de fondos de 180 días de un empleado con enfermedad laboral vs. uno sin enfermedad laboral**

| Operario con enfermedad laboral                            |             |             |             |             |             |             |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Mes  | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           |
| Prestaciones económicas por el empleador (3 primeros días) | \$410.667   |             |             |             |             |             |
| Operario contratista de reemplazo                          | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   |
| Salario del operario                                       | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   |
| Subtotal (-)   | \$1.642.667 | \$1.232.000 | \$1.232.000 | \$1.232.000 | \$1.232.000 | \$1.232.000 |
| Total (-)  | \$7.802.667 |             |             |             |             |             |
| Operario sin enfermedad laboral                            |             |             |             |             |             |             |
| Salario del operario                                       | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   |
| Total (-)  | \$3.696.000 |             |             |             |             |             |

**Fuente:** Ministerio de Trabajo. Operario con enfermedad laboral. [En línea]. [Consultado el: 5 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.mintrabajo.gov.co/preguntas-frecuentes/incapacidad.html>>.

Para poder entender la importancia de éste proyecto para la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S que desea evitar las malas posturas de los operarios al expulsar bobinas manualmente de la máquina TITAN ER-610, se muestra en el Cuadro 2 que el empleador se puede ahorrar aproximadamente el 53% de los gastos causados por una enfermedad laboral en un operario.

En el 2014 llegaron a la empresa dos cortadoras TITAN con las mismas características. Dicho lo anterior, surge la necesidad por parte de la empresa de retomar el proceso que se venía llevando a cabo para el diseño de un

<sup>9</sup> MINTRABAJO, Republica de Colombia. preguntas frecuentes. [En línea] 2014. [Consultado el: 10 de Marzo de 2014.] Disponible en internet: <<http://www.mintrabajo.gov.co/preguntas-frecuentes/incapacidad.html>>

<sup>10</sup> Ibíd.

sistema que pudiese dar solución a la problemática anteriormente mencionada, donde por medio de una herramienta o conjunto de ellas, se ayude a los operarios del área de corte a la ejecución de la tarea, brindando bienestar y fiabilidad para cumplir con los parámetros establecidos por la empresa, las normas y las leyes.



## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de expulsión de bobinas segmentadas para la máquina cortadora TITAN.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar las especificaciones del proyecto aplicando las metodologías de diseño teniendo en cuenta las necesidades del personal del área.

Generar conceptos eléctricos y electrónicos aplicables para el desarrollo del proyecto.

Generar conceptos mecánicos aplicables para el desarrollo del proyecto.

Realizar la prueba de conceptos y seleccionar el mejor de estos para un diseño final.

Desarrollar el diseño de la arquitectura del sistema integrando los conceptos elegidos.

Especificar el tipo de prototipado necesario para simular el sistema propuesto.

Realizar un manual para el mantenimiento del sistema.

### **4.3 ALCANCE DEL PROYECTO**

El objetivo general del proyecto se espera cumplir en 6 meses, tiempo requerido para cumplir cada una de las tareas especificadas en el cronograma de actividades del anteproyecto.

## 5 ANTECEDENTES

El 12 de Junio del 2013 el entonces dibujante de mantenimiento Moris Carvajal inició el proceso para el diseño de un sistema expulsor de bobinas para la cortadora TITTAN basándose en el diseño que de fábrica se encuentra implementado en la también cortadora PROSLIT EIKON. S.d.

Comercialmente existen máquinas que cuentan con un sistema integrado para el desmontaje de bobinas segmentadas. La empresa Atlas Converting Equipment Ltd. - Bobst Group cuenta entre estas con las cortadoras TITAN SR8, TITAN CT610, TITAN SR9-DT y TITAN SR9-DS pertenecientes al mismo fabricante de la TITAN.<sup>11</sup> Dicho sistema fue incorporado para cumplir con los requerimientos de expansión de la producción de las compañías.<sup>12</sup> Se encuentra implementado dentro de la estructura propia de las cortadoras que además de permitirle al operario descargar la bobina de corte de forma eficiente y segura, ofrece también la posibilidad de posicionar el núcleo de cartón de las bobinas de forma automática.

Los puntos rojos en las Figuras 15, 16, 17 y 18 se marcan los sistemas de expulsión de bobinas segmentadas que se encuentran implementados en las cortadoras.

**Figura 15. Sistema de expulsión - TITAN SR9-DS**



**Fuente:** ATLAS – TITAN. SR9-DS. [En línea]. [Consultado el: 20 de Marzo del 2014, editado el 21 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.atlasconverting.com/solutions/view/sr9-ds>>

<sup>11</sup> ATLAS – TITAN. Soluciones. [En Línea]. [Consultado el: 17 de Febrero del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.atlasconverting.com/solutions>>.

<sup>12</sup> ELEMPAQUE – Rebobinadora – cortadora Titan SDR-DT aumenta la producción en Gilbreth Packaging. [En Línea]. Croydon, Pensilvania, Estados Unidos, Diciembre de 2013. [Consultado el: 17 de Febrero del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.elempaque.com/temas/Rebobinadora-cortadora-Titan-SR9-DT-aumenta-la-produccion-en-Gilbreth-Packaging+95599>>.

La compañía COMEXI GROUP dedicada a la distribución de maquinaria y servicios al sector de la conversión de envases flexibles lanzó en su línea de maquinaria de corte, la cortadora PROSLIT EIKON que es considerada la máquina estrella ya que incorpora los últimos desarrollos disponibles en el mundo de la conversión. Entre algunas de las características más destacadas se encuentran el control automático de tensión, favorece el trabajo en ambientes asépticos, posicionador laser, extractor de bobinas entre otras.<sup>13</sup>

**Figura 16. Sistema de expulsión - PROSLIT EIKON**



**Fuente:** COMEXI GROUP. PROSLIT EIKON. [En línea]. [Consultado el: 20 de Marzo del 2014, editado el 21 de Marzo del 2014, modificado el 22 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.comexigroup.com/cortadoras-rebobinadoras/cortadora-eikon/eikon-seguridad.php>>

La empresa italiana TEMAC especializada en máquinas de corte longitudinal y máquinas de embalaje cuenta con una alta gama de cortadoras donde la TTS 160/180 se destaca por sus características, entre las que resaltan principalmente la utilización de PLC para controlar todas las unidades de hardware, control automático de tensión en el material, la implementación del sistema ECOSYSTEMAC cuya tecnología se basa en el ahorro de energía y trato amigable con el medio ambiente, cuenta también con dos sistemas totalmente automáticos para el empuje de rollos terminados y posicionadores laser para la ayuda de la colocación de los núcleos de cartón para el embobinado.<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> COMEXI GROUP. COMEXI PROSLIT. [En Línea]. [Consultado el: 18 de Febrero del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.comexigroup.com/cortadoras-rebobinadoras/cortadora-eikon.php>>.

<sup>14</sup> TEMAC. PRODOTTI – TAGLIERINE RIBOBINATRICI. [En Línea]. [Consultado el: 18 de Febrero del 2014]. Disponible en internet:

**Figura 17. Sistema de expulsión – TEMAC TTS 160/180**



**Fuente:** TEMAC. TTS 160/180. [En línea]. [Consultado el: 20 de Marzo del 2014, editado el 21 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <[http://www.temac.it/it/tts\\_160\\_180\\_taglierinaribobinatrice.php](http://www.temac.it/it/tts_160_180_taglierinaribobinatrice.php)>.

La compañía Universal Converting Equipment dedicada al diseño, desarrollo y construcción de máquinas cortadoras, sistemas de recubrimiento por fusión y plastificadoras, cuenta con las máquinas cortadoras Slitter Rewinder X6 – Flexible packaging, Slitter Rewinder X8 – Hot & cold stamping foil y Slitter Rewinder X9 – Multi-purpose que cuentan con un sistema de descarga automatizada de bobinas segmentadas con el fin de evitar cualquier trabajo pesado de forma manual.

**Figura 18. Sistema expulsor - Slitter Rewinder X9**



**Fuente:** Universal Converting Equipment. Slitter Rewinder X9. [En línea]. [Consultado el: 20 de Marzo del 2014, editado el 21 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.universalconvertingequipment.com/slitter-rewinder-machines/universal-x9>>.

<sup>15</sup> Universal Converting Equipment. Slitter Machine. [En Línea]. [Consultado el: 18 de Febrero de 2014]. Disponible en internet: <<http://www.universalconvertingequipment.com/slitter-rewinder-machines>>.

## 6 LISTA DE NECESIDADES DEL CLIENTE

Para el proceso de identificación de necesidades se realizaron, como métodos de obtención de datos, una encuesta personal (Anexo A) a los ingenieros, técnicos en mantenimiento y operarios que intervienen en la máquina cortadora, localizada en el área de corte de la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S.

A continuación se muestran las importancias de las necesidades del cliente, con una puntuación de 1 a 5, siendo 5 el de mayor importancia y 1 el de baja importancia:

**Cuadro 3. Lista de necesidades del cliente con su respectiva importancia**

| Número | Planteamiento de las necesidades   | Importancia |
|--------|--|-------------|
| 1      | “Que exista un método para expulsar fácilmente las bobinas de papel de la cortadora TITAN”   | 4,7         |
| 2      | “Que el sistema detecte atascamientos”   | 3,5         |
| 3      | “Que el sistema de expulsión de bobinas no debe ser muy grande para poder instalarlo con facilidad”  | 4,5         |
| 4      | “Que el diseño de la estructura del sistema de expulsión de bobinas sea organizado, bonito y aislado de la máquina cortadora”  | 4,3         |
| 5      | “Que se escojan los actuadores más indicados para el sistema de expulsión de bobinas”  | 2,7         |
| 6      | “Que el sistema de expulsión no vaya a ser muy costoso”  | 3,5         |
| 7      | “Que después de realizar la expulsión de un lote de bobinas de la máquina cortadora el sistema de expulsión pueda hacerlo otra vez y sin problemas”                      | 5,0         |
| 8      | “Que en cualquier momento se puedan cambiar los parámetros de funcionamiento del sistema de expulsión de bobinas, como pasar de estado de operación manual a automático” | 4,8         |
| 9      | “Que sea amigable con el medio ambiente”   | 3,2         |
| 10     | “Que se cumpla con las normas de seguridad”  | 5,0         |
| 11     | “Que el sistema sea de fácil mantenimiento”  | 4,0         |
| 12     | “Que los materiales que estén en contacto con las bobinas sean adecuados para el proceso”  | 4,0         |
| 13     | “Que no se pierda la garantía de la máquina cortadora”   | 4,5         |
| 14     | “Que la vida útil del sistema sea buena”   | 4,1         |

## 7 MÉTRICAS Y SUS UNIDADES

Para realizar el debido estudio de las necesidades, se enumeraron como se muestra a continuación:

**Cuadro 4. Lista de necesidades, requerimientos y métricas**

| (véase ¡Error!<br>No se encuentra<br>el origen de la | Requerimientos<br>Técnicos                   | Métricas                                      | Importancia                                | Unidad              |
|--|--|---|--|---------------------|
| 1  | Sistema semiautomático                       | On-Off  | 4,5  | Sistema             |
| 2  | Estados de funcionamiento seguro             | Cumplimiento de normas                        | Lista de normas                            | normas              |
| 3  | Ocupa poco espacio                           | % relativo al espacio de la máquina cortadora | 0-100                                      | %                   |
| 4  | Buena apariencia                             | Que sea estético                              | Subjetivo                                  | E-B-R-M             |
| 5  | Actuadores adecuados para el proceso         | Tipos de actuadores aptos para el proceso     | Lista de actuadores                        | Tipos de actuadores |
| 6  | Buena relación costo-beneficio               | % de producción                               | 0 – 100                                    | %                   |
| 7  | Versatilidad                                 | % de producción                               | 0 – 100                                    | %                   |
| 8  | Interfaz amigable para el usuario            | Que sea estético                              | Subjetivo                                  | E-B-R-M             |
| 9  | Bajo consumo de energía                      | Energía consumida                             | Medición de energía                        | Kw-h                |
| 10   | Normas ergonómicas y de seguridad industrial | Normas de seguridad                           | Lista de normas                            | Normas              |
| 11   | Arquitectura modular                         | Números de partes                             | Número                                     | Partes              |
| 12   | Materiales adecuados                         | Materiales aptos para el proceso              | Lista de materiales (contacto con bobinas) | Tipos materiales    |

Cuadro 4 (continuación)

|    |   |                          |                                  |             |
|----|---|--------------------------|----------------------------------|-------------|
| 13 | Sistema independiente de la máquina cortadora | Condiciones de garantía  | Lista de condiciones de garantía | Condiciones |
| 14 | Manual de mantenimiento                       | Proceso de mantenimiento | Lista de pasos                   | pasos       |

## 8 Q.F.D.

Toda la información que se muestra a continuación se puede visualizar de forma integral en el Anexo B.

### 8.1 NECESIDADES VS. REQUERIMIENTOS

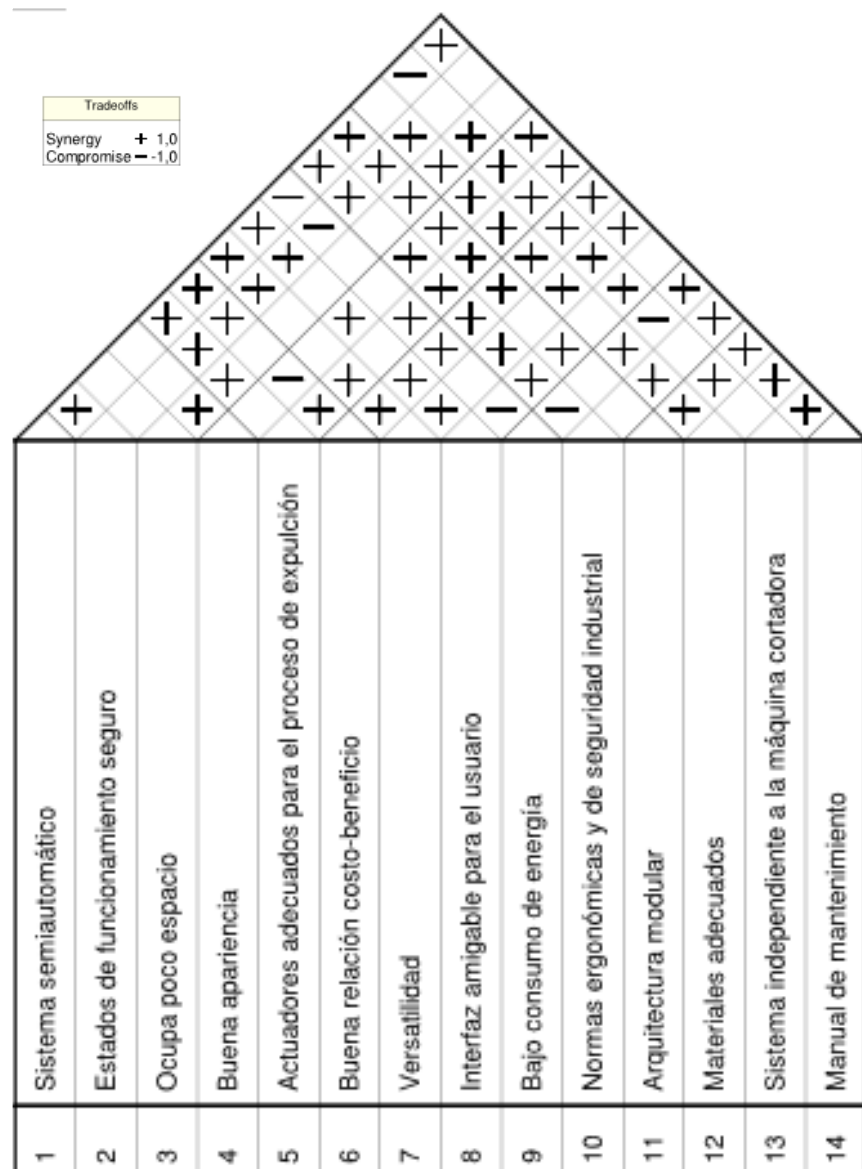
**Cuadro 5. Necesidades vs. Requerimientos**

| NECESIDAD | IMPORTANCIA |               |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
|-----------|-------------|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
|           |             |               |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
|           |             | REQUERIMIENTO |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
|           |             | 1             | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1         | 4,7         | ●             | ○ |   |   | ○ | ● | ● | ○ | ○ | ●  | ●  | ▽  | ▽  | ○  |
| 2         | 3,5         | ○             | ● |   |   | ● | ● | ● | ● | ● | ●  |    |    | ●  |    |
| 3         | 4,5         | ○             | ● | ● | ○ | ● | ○ | ▽ | ▽ | ○ | ○  | ●  |    | ▽  |    |
| 4         | 4,3         |               |   | ▽ | ● |   |   |   | ○ | ▽ | ○  | ●  |    | ●  |    |
| 5         | 3,2         | ○             | ○ |   |   | ● | ○ | ○ |   | ● | ●  | ●  | ▽  |    |    |
| 6         | 2,7         | ▽             |   |   |   | ○ | ● |   | ▽ | ▽ | ●  | ○  | ○  |    |    |
| 7         | 3,5         | ●             | ● |   |   | ● | ○ | ● | ○ | ▽ | ●  |    |    |    | ○  |
| 8         | 5,0         | ●             | ○ |   |   | ● |   | ● | ● | ▽ | ●  |    |    |    | ▽  |
| 9         | 4,8         |               | ○ |   |   | ● | ● |   |   | ● | ○  |    |    |    | ○  |
| 10        | 4,8         | ●             | ● |   |   | ● | ● | ● |   |   | ●  | ○  |    |    |    |
| 11        | 3,2         |               |   | ○ |   | ● | ● |   | ● |   | ▽  | ●  | ●  |    | ●  |
| 12        | 5,0         |               |   |   |   | ● | ● |   |   |   | ●  | ●  | ●  |    |    |
| 13        | 4,5         | ●             | ● | ● |   |   | ● | ▽ |   |   | ●  | ●  |    | ●  | ▽  |
| 14        | 4,5         | ○             |   |   |   | ● | ● |   |   |   |    | ●  | ●  |    | ●  |



## 8.2 RELACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS

Figura 19. Relación de los diferentes requerimientos



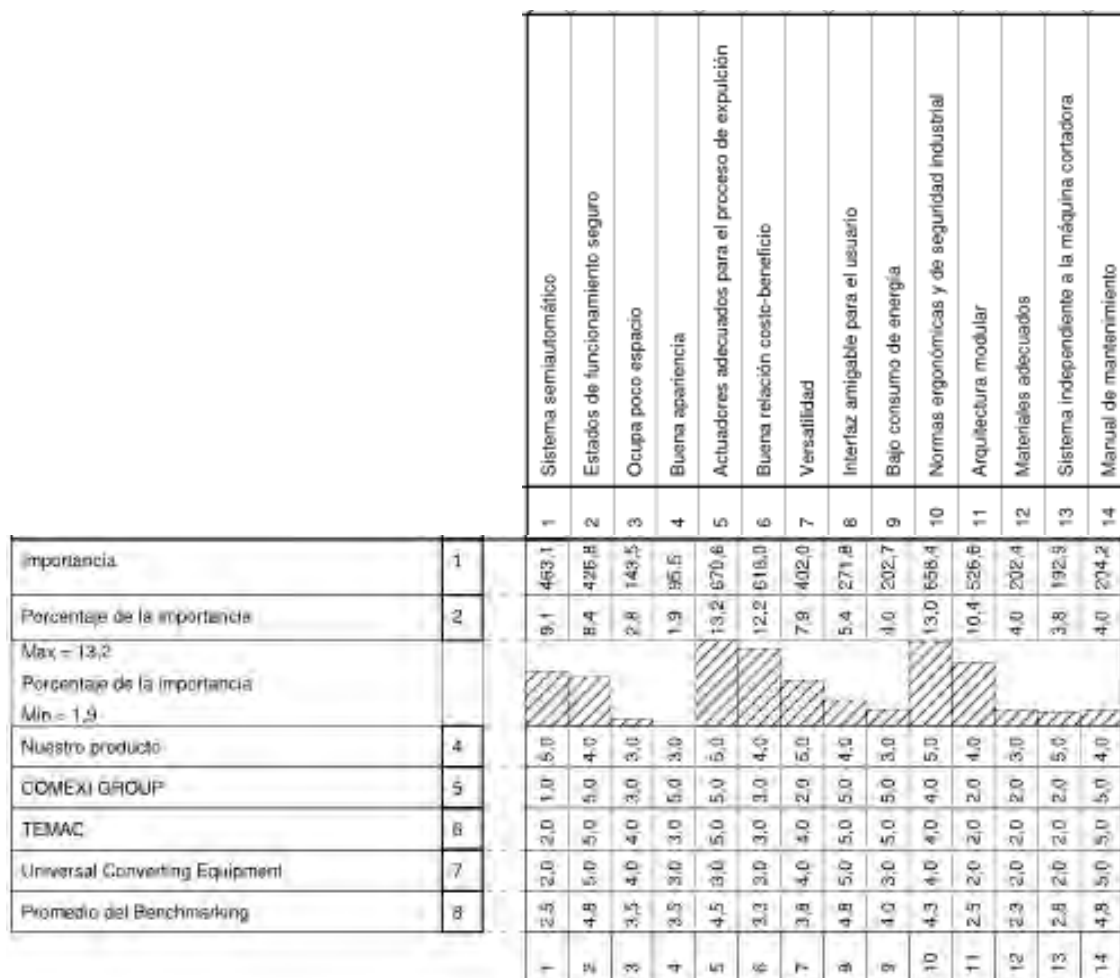
### 8.3 NECESIDADES CON RESPECTO A LOS COMPETIDORES

Figura 20. Benchmarking de las necesidades

|   |    | 1                | 2            | 3     | 4                              | 5                       | 6                      | 7                       | 8           | 9                         |            |                           |
|---|----|------------------|--------------|-------|--------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|------------|---------------------------|
|   |    | Nuestro producto | COMEXI GROUP | TENAC | Universal Converting Equipment | Nuestro producto futuro | Coefficiente de mejora | Minimización de riesgos | Ponderación | Porcentaje de importación | Max = 10,7 | Porcentaje de importación |
|   |    |                  |              |       |                                |                         |                        |                         |             |                           | Min = 3,2  |                           |
| Sistema automatico o semiautomatico           | 1  | 5,0              | 3,0          | 5,0   | 5,0                            | 5,0                     | 0,9                    | 1,0                     | 4,4         | 7,9                       |            | 1                         |
| Detecta atascamientos                         | 2  | 5,0              | 1,0          | 3,0   | 3,0                            | 5,0                     | 0,7                    | 1,0                     | 2,5         | 4,4                       |            | 2                         |
| Facil instalación                             | 3  | 5,0              | 3,0          | 3,0   | 3,0                            | 5,0                     | 0,9                    | 1,0                     | 4,1         | 7,2                       |            | 3                         |
| Diseño atractivo                              | 4  | 4,0              | 5,0          | 3,0   | 3,0                            | 5,0                     | 1,1                    | 1,0                     | 4,6         | 8,2                       |            | 4                         |
| Actuadores óptimos                            | 5  | 4,0              | 4,0          | 5,0   | 5,0                            | 5,0                     | 0,7                    | 1,0                     | 1,8         | 3,2                       |            | 5                         |
| Bajo costo                                    | 6  | 3,0              | 2,0          | 3,0   | 3,0                            | 3,0                     | 1,2                    | 1,0                     | 4,1         | 7,3                       |            | 6                         |
| Buen funcionamiento                           | 7  | 5,0              | 5,0          | 5,0   | 5,0                            | 5,0                     | 1,0                    | 1,0                     | 5,0         | 8,9                       |            | 7                         |
| Modos de funcionamiento                       | 8  | 4,0              | 2,0          | 2,0   | 2,0                            | 4,0                     | 1,2                    | 1,0                     | 5,8         | 10,2                      |            | 8                         |
| Amigable con el ambiente                      | 9  | 3,0              | 5,0          | 5,0   | 5,0                            | 5,0                     | 1,1                    | 1,0                     | 3,4         | 6,1                       |            | 9                         |
| Proceso seguro                                | 10 | 5,0              | 4,0          | 4,0   | 4,0                            | 5,0                     | 1,0                    | 1,2                     | 6,0         | 10,7                      |            | 10                        |
| Facil mantenimiento                           | 11 | 5,0              | 4,0          | 4,0   | 4,0                            | 5,0                     | 0,8                    | 1,0                     | 3,2         | 5,7                       |            | 11                        |
| Materiales adecuados                          | 12 | 5,0              | 2,0          | 3,0   | 3,0                            | 5,0                     | 0,8                    | 1,0                     | 3,2         | 5,7                       |            | 12                        |
| Sistema independizado de la máquina cortadora | 13 | 5,0              | 2,0          | 2,0   | 2,0                            | 5,0                     | 0,9                    | 1,0                     | 4,1         | 7,2                       |            | 13                        |
| Buena vida util                               | 14 | 4,0              | 5,0          | 4,0   | 4,0                            | 5,0                     | 1,0                    | 1,0                     | 4,2         | 7,5                       |            | 14                        |

## 8.4 REQUERIMEINTOS CON RESPECTO A LOS COMPETIDORES

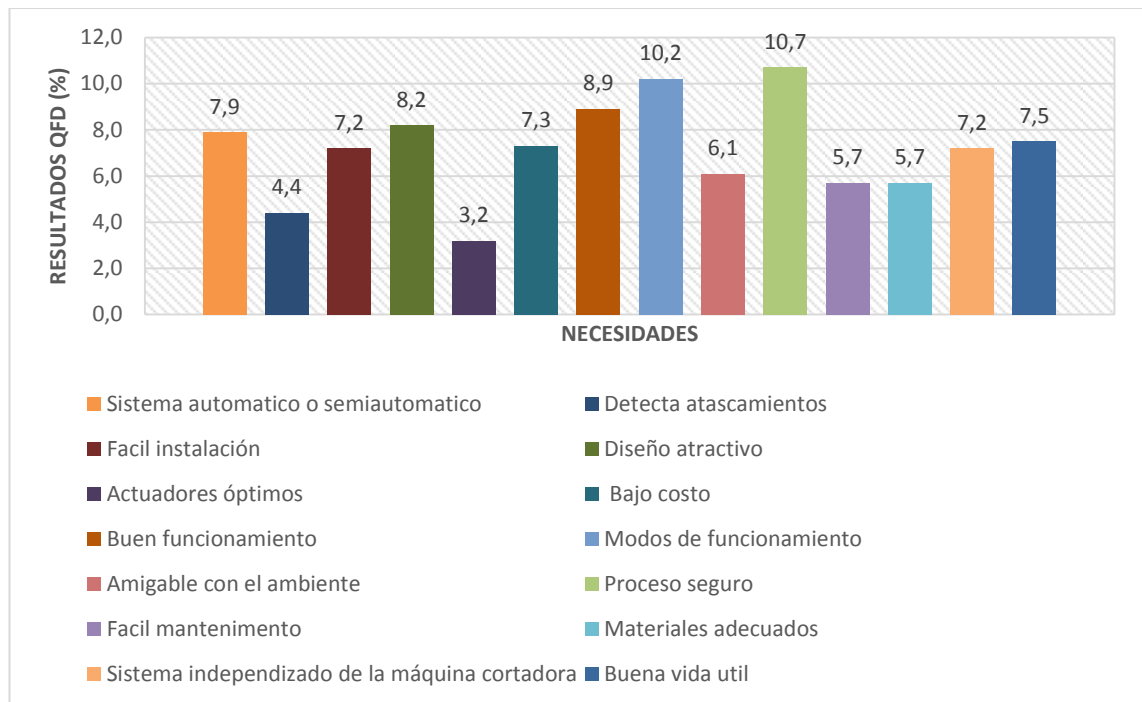
Figura 21. Benchmarking de los requerimientos



## 9 ANÁLISIS DE NECESIDADES Y LOS REQUERIMIENTOS

A partir de la información obtenida en la QFD, se realiza la debida representación estadística para encontrar los requerimientos y necesidades de mayor prioridad para el proyecto.

**Gráfica 1. Importancia de las necesidades en la QFD**



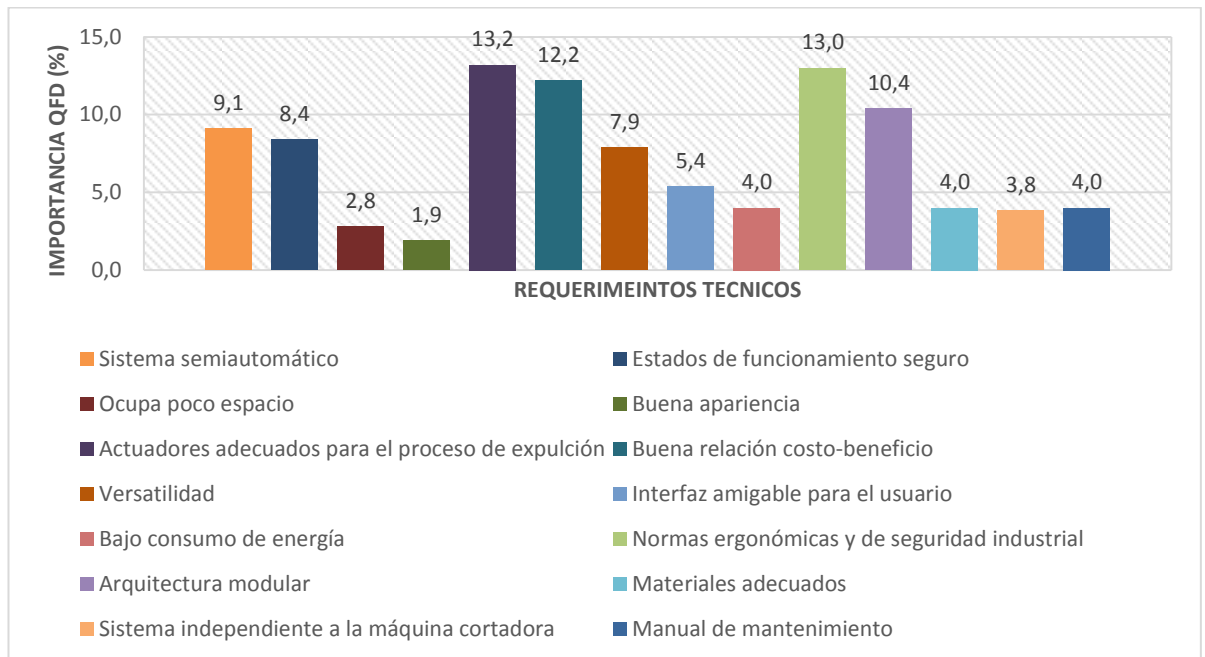
En la gráfica 1 se logra deducir que:

El proceso seguro es la necesidad más importante para el desarrollo del proyecto.

Tener modos de funcionamientos es la segunda necesidad con más prioridad para el proyecto.

El buen funcionamiento es la tercera necesidad con más prioridad para el proyecto.

**Gráfica 2. Importancia de los requerimientos en la QFD**



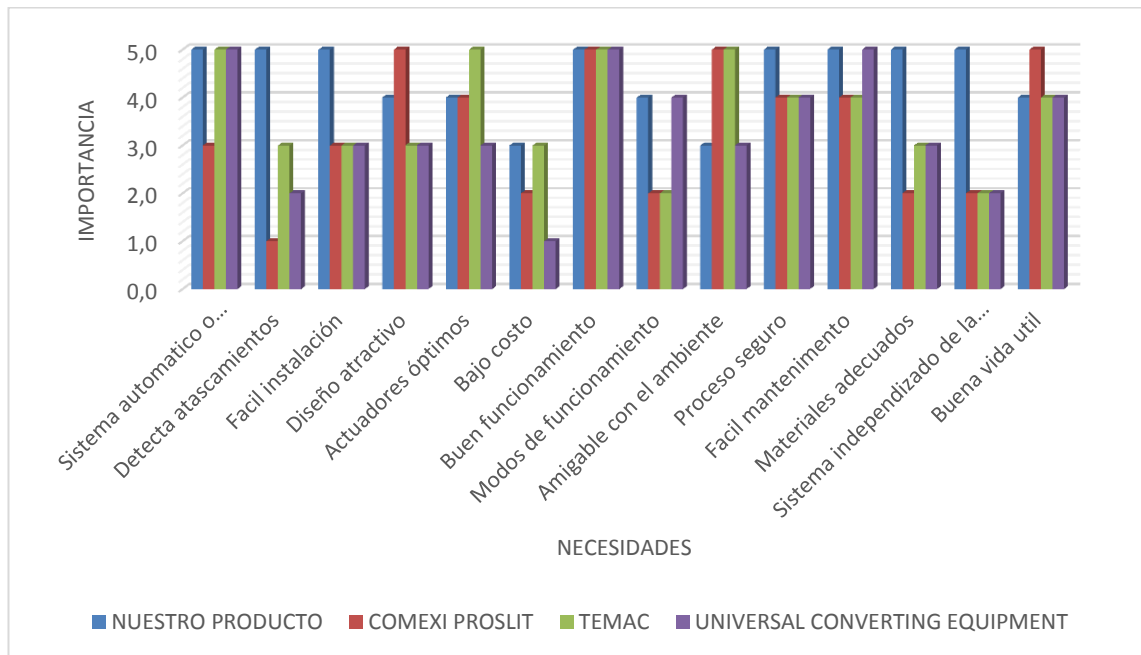
En la gráfica 2 se logra deducir que:

Los actuadores adecuados para el proceso de expulsión, las normas ergonómicas y de seguridad industrial y una buena relación costo-beneficio son los requerimientos con más importancia para el desarrollo del proyecto.

Las normas ergonómicas y de seguridad industrial, sistema semiautomático, estados de funcionamiento seguro y versatilidad son requerimientos relacionados con el enfoque de la misión del proyecto, que es dar seguridad al operario y asegurar la producción del área de corte de la empresa.

Igual que en las necesidades, la buena apariencia, el ocupar poco espacio y un sistema independiente de la máquina cortadora son requerimientos con un promedio no muy alto, pero no quiere decir que dejen de ser importantes para las demás empresas del mercado, por tanto, se tendrán en cuenta, para un futuro mejoramiento del proyecto.

**Gráfica 3. Benchmarking de las necesidades**



Es importante mencionar que existen en el mercado mundial una gran cantidad de empresas dedicadas al desarrollo sistemas de expulsión de bobinas integrado a la máquina cortadora.

Para poder realizar el Benchmarking, se tuvo en cuenta las principales empresas dedicadas al desarrollo sistemas de expulsión de bobinas, con la mejor tecnología utilizada actualmente, y que preferiblemente desarrollen plantas semi o completamente automatizadas, con el fin de lograr comparar las principales fortalezas y debilidades, para de esta forma poder entrar en el mercado nacional con innovación y tecnología actual.

Las principales empresas fabricantes de sistemas de expulsión de bobinas que se analizaron para el desarrollo de Benchmarking fueron:

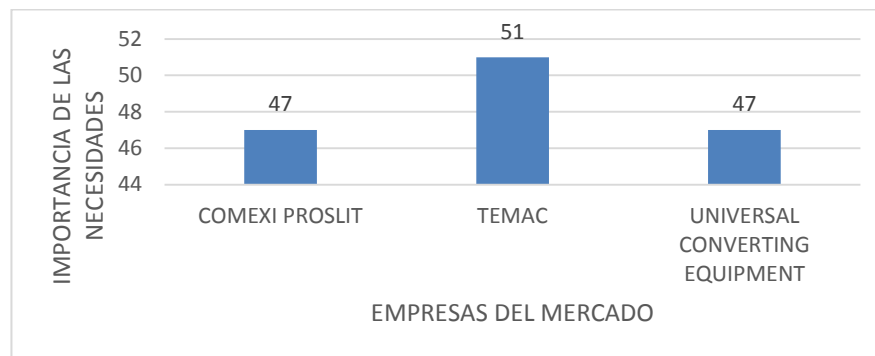
**COMEXI GROUP:** Una empresa española, líder a nivel mundial como suministrador de maquinaria y servicios al sector de la conversión de envase flexible, con un alto grado de especialización de cada una de las líneas de producto, que se complementan entre sí con el fin de ofrecer soluciones globales y con las máximas sinergias. La búsqueda continúa de la excelencia como método de satisfacción del cliente.

**TEMAC:** Nace en de la unión de los equipos italianos, expertos electrónicos y mecánicos, con más de cuarenta años de experiencia técnica en la conversión

de los equipos y de manera especial en las máquinas de corte y máquinas especiales sobre las demandas del cliente. Sus cortadoras son capaces de trabajar el papel, películas plásticas, laminados y varios materiales utilizados en el campo de la transformación y el envasado.

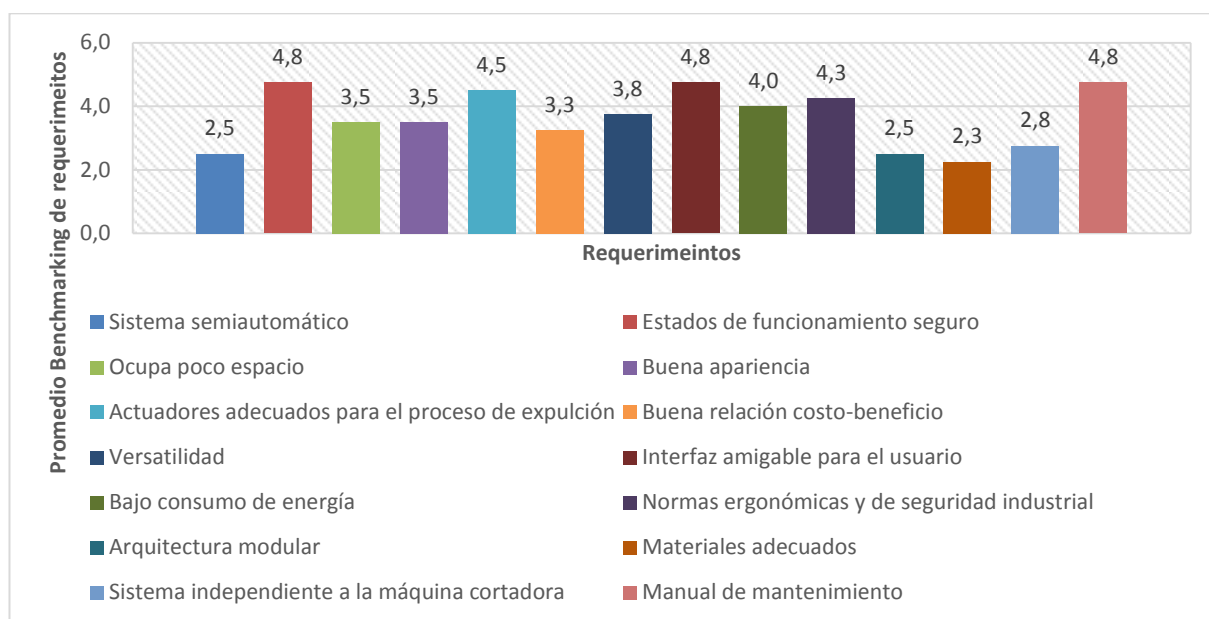
Universal Converting Equipment: Ofrece una amplia gama de equipos auxiliares para las máquinas de corte longitudinal y otras máquinas de conversión. Éstos incluyen cortadoras automáticas centrales, sistema de accionamiento y control de las actualizaciones, sistemas web y diferenciales de ejes enrolladores. Ofrecen un servicio completo a la industria de la conversión del suministro de piezas de repuesto individuales a través de suministro del equipamiento con el más moderno proceso.

**Gráfica 4. Porcentaje de importancia que las diferentes empresas le dan a las necesidades**



En la gráfica 4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Se puede observar el total acumulado, de cada una de las plantas analizadas en el benchmarking, con respecto a la importancia de las necesidades, y se puede ver fácilmente, que la empresa TEMAC, es una competencia relevante a tener en cuenta para las características a desarrollar en el proyecto, ya que es la que mejor sule las necesidades de los usuarios, por lo cual ese modelo de sistema de expulsión de bobinas pude ser fuente de inspiración para el diseño de la planta final a desarrollar.

**Gráfica 5. Benchmarking de los requerimientos**



En la gráfica 5 se habla del promedio de la importancia que le dan las empresas a los requerimientos, el cual muestra, que sus principales fortalezas se enfocan en: estados de funcionamiento seguro, interfaz amigable para el usuario y un buen manual de mantenimiento, lo cual se tendrá en cuenta durante el desarrollo del proyecto.



## 10 GENERACIÓN DE CONCEPTOS

### 10.1 DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL

En esta sección del trabajo, se detallan las atribuciones y responsabilidades que tiene cada componente del sistema de expulsión de bobinas para realizar su función principal, para ello, se dividen las funciones y subsunciones que existen en el proceso.

**Figura 22. Caja negra del sistema**

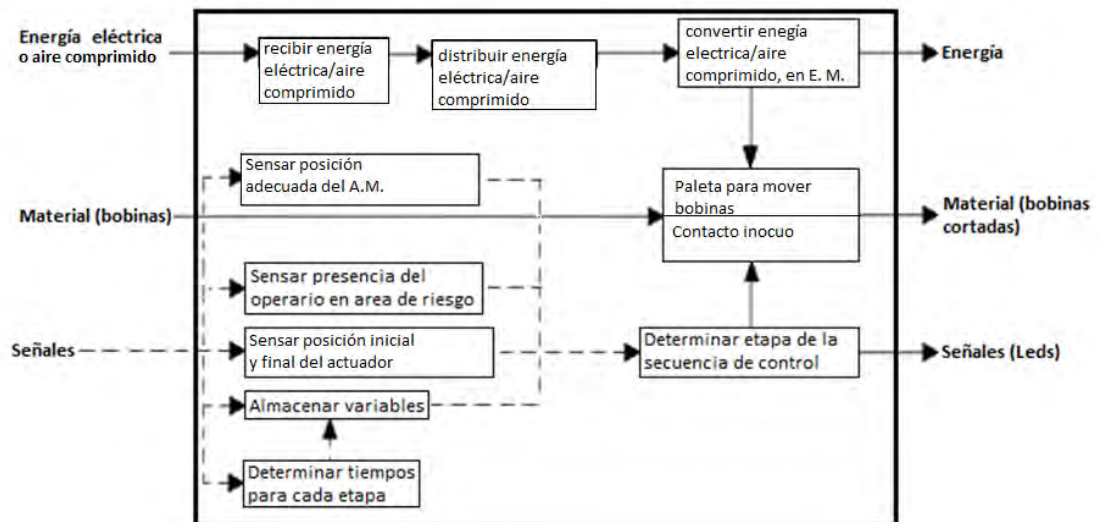


En la figura 22 se describe la forma más simple en que se puede representar el sistema de expulsión de bobinas y su interacción con sus entradas y salidas. En área de corte existe la disponibilidad de dos tipos de fuentes de energía: aire comprimido y energía eléctrica. En dicho proceso se espera que no exista una alteración en el material entrante, que en éste caso, son las bobinas cortas en la máquina cortadora. Para el control del sistema se requiere contar con señales tanto internas como externas.

### 10.2 SUBFUNCIONES

En la figura 22 se hace una descripción general del proceso de expulsión de bobinas, pero éste esquema no ofrece la información necesaria para entender el sistema. Por esta razón, cuando se profundiza en el medio, se descompone el proceso en sub-funciones de una forma más detallada:

**Figura 23. Descomposición funcional del sistema**



Donde A.M. es el Ayudante Mecánico y E.M. es Energía Mecánica.

En la Figura 23 se muestra detalladamente el interior de la caja negra de la Figura 22, para entender como el sistema manipula las entradas y crea las salidas deseadas. La línea bordeada significa la materia a utilizar para el proceso, en éste caso las bobinas cortadas, la línea punteada son las señales que recibe la planta para controlar el proceso de la planta y toda su instrumentación, y la línea delgada, es la energía que el proceso necesita para el desarrollo total del sistema y su funcionamiento.

### 10.3 CONCEPTOS GENERADOS

Para realizar el diseño del sistema se creó una lista de conceptos para cada una de las sub-funciones de la descomposición funcional que se observa en la Figura 23.

#### 10.3.1 Recibir energía eléctrica/aire comprimido:

Para energía eléctrica:

Transformador 220V AC de la máquina TITAN.

Red eléctrica de la empresa.

Energía eléctrica tomada desde una planta de combustión.

Para aire comprimido:

Red de aire comprimido de la empresa a 6bar.

#### **10.3.2 Distribuir energía eléctrica/aire comprimido:**

Para energía eléctrica:

Fuente de 24Volts DC.

Cableado eléctrico.

Para aire comprimido:

Válvula manual.

Electroválvula.

#### **10.3.3 Convertir energía eléctrica/aire comprimido en Energía Mecánica (E.M.):**

Para energía eléctrica:

Pistón lineal con servo actuadores.

Pistón lineal con moto reductores.

Para aire comprimido:

Pistón lineal sin vástago

Pistón con vástago.

#### **10.3.4 Censar posición adecuada del Ayudante Mecánico (A.M.):**

Circuito laser-fototransistor.

Módulo sensor de presencia para PLC.

Sensor magnético.

Circuito pulsador.

#### **10.3.5 Censar presencia del operario en área de riesgo:**

Circuito laser-fototransistor.

Módulo sensor de presencia para PLC.

Plataforma con circuito pulsador.

#### **10.3.6 Censar posición inicial y final del actuador:**

Finales de carrera especiales para los actuadores.

#### **10.3.7 Almacenar variable, determinar tiempos para cada etapa y determinar etapa de la secuencia de control:**

PLC

Micro-controlador

PC Industrial

#### **10.3.8 Paleta para mover bobinas:**

Estructura ensamblada de acero AISI 1020 o 1015 que va desde el actuador hasta las bobinas.

#### **10.3.9 Contacto inocuo: Partes inocuas hechas de:**

Acero inoxidable.

Teflón.

Nylon.

Polietileno.

### 10.3.10 Alternativas de diseño

**Cuadro 6. Principales alternativas de diseño**

| Combinación | Control de proceso | Sensor de presencia en área de riesgo | Contacto inocuo  | Sensores de posición adecuada del ayudante mecánico (A.M.) | Actuador                           |
|-------------|--------------------|---------------------------------------|------------------|--|------------------------------------|
| A           | PLC                | Módulo sensor de presencia para PLC   | Polietileno      | Circuito pulsador  | Pistón lineal sin vástago          |
| B           | Micro-procesador   | circuito laser-fototransistor         | Polietileno      | Circuito pulsador  | Pistón lineal sin vástago          |
| C           | PC Industrial      | plataforma con circuito pulsador      | Polietileno      | Circuito pulsador  | Pistón lineal sin vástago          |
| D           | PLC                | circuito laser-fototransistor         | Acero Inoxidable | Circuito laser-fototransistor                              | Pistón lineal con servo actuadores |
| E           | Micro-procesador   | plataforma con circuito pulsador      | Acero Inoxidable | Circuito laser-fototransistor                              | Pistón lineal con servo actuadores |
| F           | PC Industrial      | Módulo sensor de presencia para PLC   | Acero Inoxidable | Circuito laser-fototransistor                              | Pistón lineal con servo actuadores |
| G           | PLC                | plataforma con circuito pulsador      | Teflón           | Sensor magnético   | Pistón lineal con moto reductores  |
| H           | Micro-procesador   | Módulo sensor de presencia para PLC   | Teflón           | Sensor magnético   | Pistón lineal con moto reductores  |
| I           | PC Industrial      | circuito laser-fototransistor         | Teflón           | Sensor magnético   | Pistón lineal con moto reductores  |

En la cuadro 6 se presentaron los conceptos generados más viables para el proyecto. Se podrían presentar más combinaciones para la formación de conceptos, pero algunos de éstos se determinaron no aptos a causa de las condiciones tecnológicas, de seguridad, confiabilidad, costos, redundancia, única elección y experiencias pasadas.

#### 10.4 EVALUACIÓN DE LA COMBINACIÓN DE CONCEPTOS

Para realizar la selección de los conceptos más relevantes para el proyecto, se usó el método de filtración que se muestra en el Cuadro 7. Además, se tuvo como referencia el mecanismo de expulsión de la máquina TEMAC, ya que, tiene el sistema más completo y le da más peso a las necesidades del cliente del proyecto.

**Cuadro 7. Método de selección de conceptos**

| Necesidades del cliente   | combinación de conceptos |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
|   | A                        | B | C | D | E | F | G | H | I |
| “Que exista un método para expulsar fácilmente las bobinas de papel de la máquina cortadora”  | 0                        | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| “Que el sistema detecte atascamientos”  | +                        | + | + | + | + | + | + | + | + |
| “Que el sistema de expulsión de bobinas no debe ser muy grande para poder instalarlo con facilidad”   | +                        | + | - | - | - | - | - | - | - |
| “Que el diseño de la estructura del sistema de expulsión de bobinas sea organizado, bonito y aislado de la máquina cortadora”   | +                        | + | - | + | + | + | + | + | + |
| “Que se escojan los actuadores más indicados para el sistema de expulsión de bobinas”   | 0                        | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| “Que el sistema de expulsión no vaya a ser muy costoso”   | 0                        | + | - | - | - | - | - | - | - |
| “Que después de realizar la expulsión de un lote de bobinas de la máquina cortadora el sistema de expulsión pueda hacerlo otra vez sin problemas”                       | 0                        | 0 | 0 | - | - | - | 0 | 0 | 0 |
| “Que en cualquier momento se pueda cambiar los parámetros de funcionamiento del sistema de expulsión de bobinas, como pasar de estado de operación manual a automático” | +                        | + | + | + | + | + | + | + | + |

Cuadro 7 (continuación)

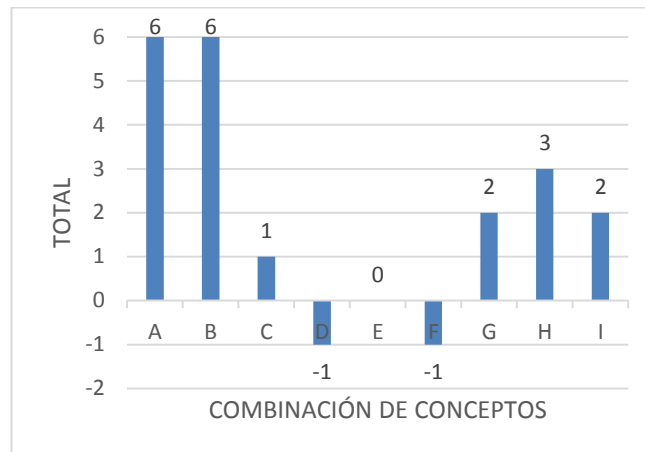
|   |   |   |   |    |   |    |   |   |   |
|---|---|---|---|----|---|----|---|---|---|
| “Que el sistema sea de fácil mantenimiento”   | 0 | 0 | - | -  | - | -  | - | - | - |
| “Que se cumpla con las normas de seguridad”   | 0 | 0 | 0 | 0  | 0 | 0  | 0 | 0 | 0 |
| “Que los materiales que estén en contacto con las bobinas sean adecuados para el proceso” | + | + | + | +  | + | +  | + | + | + |
| “Que no se pierda la garantía de la máquina cortadora”                                    | + | + | + | +  | + | +  | + | + | + |
| “Que la vida útil del sistema sea buena”  | 0 | - | 0 | -  | - | -  | + | + | + |
| POSITIVOS   | 6 | 7 | 5 | 5  | 5 | 5  | 6 | 6 | 6 |
| IGUALES   | 8 | 6 | 5 | 3  | 4 | 3  | 4 | 5 | 4 |
| NEGATIVOS   | 0 | 1 | 4 | 6  | 5 | 6  | 4 | 3 | 4 |
| TOTAL   | 6 | 6 | 1 | -1 | 0 | -1 | 2 | 3 | 2 |

En la cuadro 7, se utilizó como un filtro para analizar con los conceptos más apropiados con el proceso de diseño. Se compara cada una de las combinaciones de conceptos con la de la máquina TEMAC, asignando una calificación de: igual que (0), mejor que (+) y peor que (-). De acuerdo a esto el conjunto de conceptos a desarrollar es el A, ya que cumple con todas las condiciones necesarias para brindar la posibilidad de satisfacer las necesidades y objetivos propuestos.

## 10.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Por medio de combinación de diferentes conceptos asociados al sistema de expulsión de bobinas para la máquina cortadora, se asignó una ponderación en la Grafica 6 en base a los resultados obtenidos en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.7** como se muestra a continuación:

**Gráfica 6. Comprobación de la evaluación de conceptos**



**Fuente:** ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.7

En la gráfica 6, las opciones A y B muestran ser la combinación de conceptos con las mejores características respecto al sistema de expulsión de la máquina cortadora TEMAC según las necesidades del cliente, esto se debe a su autonomía en la detección de atascamiento, su fácil instalación, a su organización y estética, sus dos modalidades de trabajo, sus materiales adecuados y a la preservación de la garantía de la máquina cortadora TITAN.

Como se puede observar las combinaciones de conceptos A y B, son muy similares a la hora de hablar de diseño físico e instrumentación requerida, pero tiene una variante con respecto a la forma de controlar el sistema. El concepto A usa un PLC, mientras que el concepto B, usa un Micro Controlador, por lo tanto es importante estudiar más a fondo las dos opciones generadas.

## 10.6 SELECCIÓN DETALLADA DE CONCEPTOS

Para determinar el concepto más importante para el diseño del sistema de expulsión de bobinas de la máquina cortadora TITAN, se realizó una comparación de la combinación de concepto A y B, según las especificaciones que se muestran en a continuación:



### Cuadro 8. Selección detallada de conceptos

|                  | El peso de cada especificación está dado de 1 a 3, siendo 3 el más importante y 1 el menos importante. |            |
|------------------|--|------------|
| Especificaciones | Concepto A   | Concepto B |
| Eficiencia       | 3  | 2          |
| Costos           | 3  | 3          |
| Control          | 3  | 3          |
| Mantenimiento    | 3  | 3          |
| Dimensionado     | 3  | 2          |
| Total            | 15   | 13         |

Teniendo en cuenta una de las principales condiciones y limitaciones de diseño, en cuanto a sistemas robustos que se desempeñen bien en áreas industriales, el conjunto de conceptos B no es factible tenerlo en cuenta debido a que su eficiencia es muy relativa a la capacidad del programador, sus dimensiones son relativos al diseño lo cual toma mucho más tiempo, si tenemos en cuenta que en la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S se cuenta con la disponibilidad de PLC's adecuados para el proyecto.

El conjunto de conceptos A, es una opción bien fundamentada a la hora de hablar de instrumentación, control, automatización y eficiencia. Es importante aclarar que los costos con respecto al B son más elevados, si no se tuviera disponibilidad del PLC, por lo demás: se tiene un sistema de control robusto, que permite el fácil mantenimiento y el correcto funcionamiento en áreas industriales, y esto conlleva a que la inversión sea fácilmente recuperable.

## 11 ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

En el Cuadro 9 se presentan los principales elementos físicos que conforman el sistema de expulsión de bobinas con sus respectivos componentes funcionales, los cuales se deducen del concepto A, seleccionado en la etapa de generación de conceptos.

Para realizar un fácil mantenimiento se optó por la implementación de una arquitectura modular por su simplicidad, fácil reutilización y fácil actualización.

### 11.1 ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

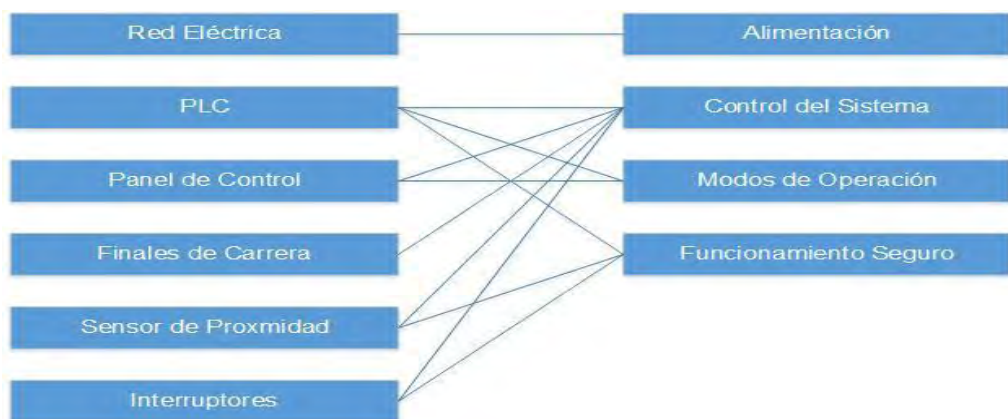
**Cuadro 9. Arquitectura del producto**

| ARQUITECTURA DEL PRODUCTO  |                        |   |                      |
|--|------------------------|---|----------------------|
| DISEÑO DE SISTEMA DE EXPULSIÓN DE BOBINAS PARA LA MÁQUINA CORTADORA REBOBINADORA DE LA EMPRESA EMPAQUES FEYA S.A.S | ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA | RED ELÉCTRICA 220 V <sub>AC</sub> -(60Hz) |                      |
|  | RED NEUMÁTICA          | AIRE COMPRIMIDO                           |                      |
|  | CONTROL DE VARIABLES   | PLC                                       |                      |
|  |                        | Panel de Control                          |                      |
|  |                        | SENSORES                                  | FINAL DE CARRERA     |
|  |                        |   | SENSOR DE PROXIMIDAD |
|  | SISTEMA DE FILTROS     | FILTRO DE IMPUREZAS                       |                      |
|  |                        | LUBRICANTE PARA ACTUADORES                |                      |
|  | SISTEMA DE EXPULSIÓN   | BRAZO MECÁNICO PARA EXPULSIÓN             |                      |
|  | SERVOACTUADORES        | CILINDRO SIN VASTAGO                      |                      |
|  | OTROS                  | ELECTRO VALVULAS                          |                      |

## 11.2 ARQUITECTURA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Por medio de la arquitectura eléctrica y electrónica del concepto seleccionado, se puede detallar las funciones con las que cumplen cada uno de los componentes en el sistema de expulsión, donde se evidencian las etapas de alimentación por medio de la red eléctrica, control por medio del PLC, de manejo por medio del panel de control y de instrumentación por parte de los sensores.

**Figura 24. Arquitectura Electrónica**



## 11.3 ARQUITECTURA MECÁNICA

La arquitectura mecánica tiene como objetivo definir las funcionalidades de cada uno de los componentes mecánicos dentro de la estructura del sistema de expulsión.

**Figura 25. Arquitectura Mecánica**



## 11.4 FUNCIONALIDAD DE LOS ELEMENTOS FÍSICOS

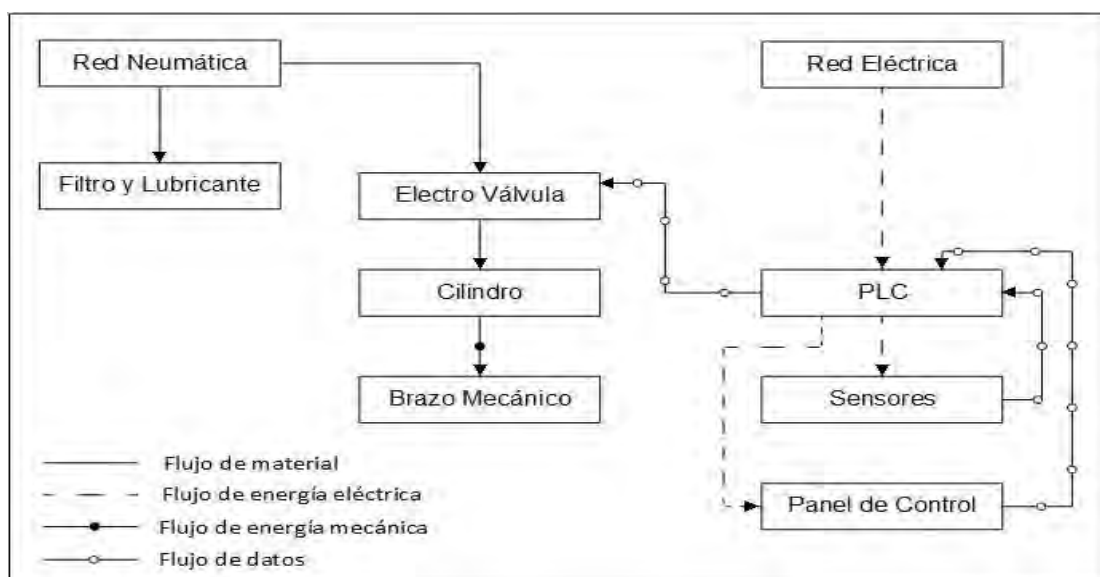
**Cuadro 10. Funcionalidad de los elementos físicos.**

| ELEMENTO                   | FUNCIONALIDAD   |
|----------------------------|---|
| Red Eléctrica              | Provee de energía eléctrica al sistema  |
| Red Neumática              | Provee de aire comprimido al sistema.   |
| PLC                        | Elemento encargado de procesar y controlar la información.                                |
| Panel de Control           | Permite la interacción del operario con el sistema.                                       |
| Electro Válvula            | Permite la interacción entre el sistema eléctrico y el sistema mecánico.                  |
| Sensores                   | Se encargan de enviar al PLC la información necesaria para el funcionamiento del sistema. |
| Cilindros y Brazo Mecánico | Son los encargados de proveer la energía mecánica al sistema.                             |
| Filtros y Lubricantes      | Previenen atascamientos y errores en el sistema.  |

## 11.5 INTERACCIÓN ENTRE MÓDULOS

La muestra la interacción y el flujo de información que se da entre los diferentes elementos que conforman el sistema.

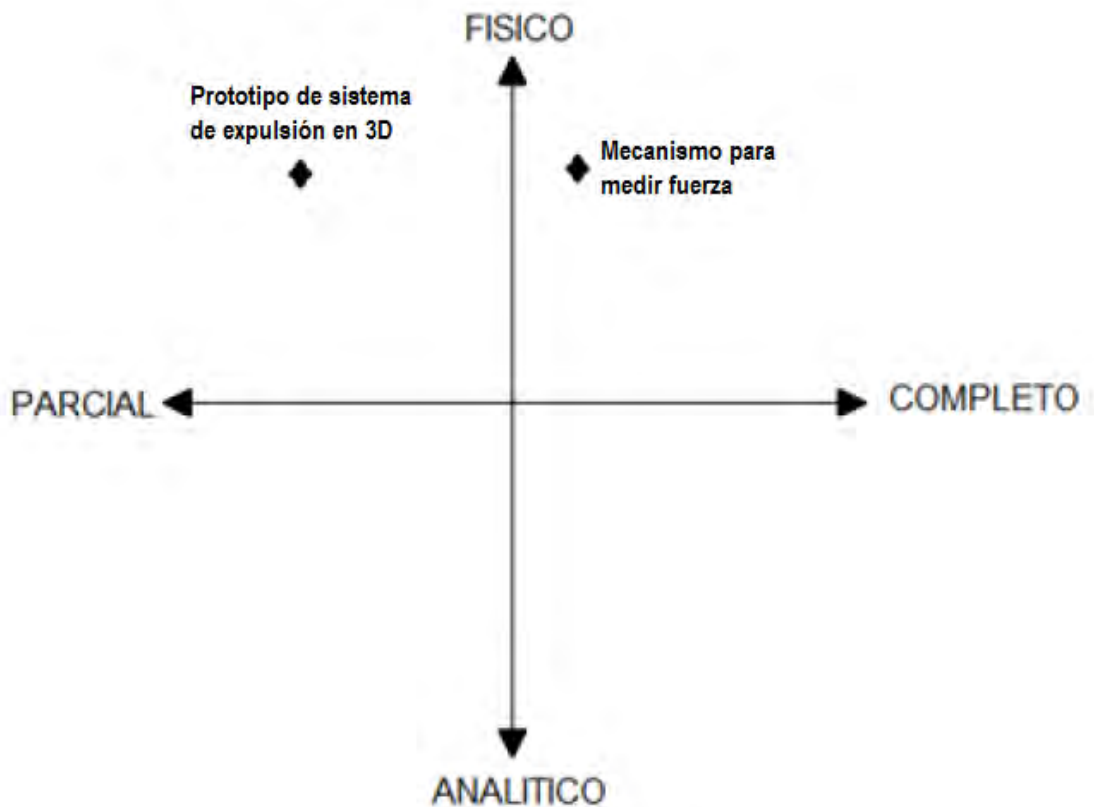
**Figura 26. Interacción entre módulos**



## 12 PROTOTIPADO

En ésta etapa se recolectan datos importantes del proyecto en lo referente a su funcionalidad, esteticidad y practicidad, los cuales son tomados en cuenta en el título “**Diseño detallado**”.

**Figura 27. Diferentes prototipos de desarrollar**



En la Figura 23 se pueden observar 2 prototipos a desarrollar, un prototipo FÍSICO-PARCIAL con el cual se desea brindar una aproximación visual del producto, con el fin de comunicar una posible apariencia física y poder integrar los diferentes subsistemas desarrollados; finalmente, un prototipos FISICO-COMPLETO: en el que se manufactura el mecanismo para medir la fuerza ejercida por un operario para expulsar bobinas de la máquina cortadora con el fin de determinar la capacidad que debe tener el actuador del sistema de expulsión de bobinas.

## 13 DISEÑO INDUSTRIAL

Según la Industrial Designers Society of America<sup>16</sup> (IDSA) el diseño industrial es el servicio profesional de crear y desarrollar conceptos y especificaciones que optimicen la función, valor y apariencia de los productos y sistemas para el beneficio mutuo, tanto del usuario como del producto. Los objetivos principales son la utilidad, la apariencia, facilidad de mantenimiento, bajo costo y la comunicación.

### 13.1 NECESIDADES ERGONÓMICAS

**Cuadro 11. Necesidades ergonómicas**

| NECESIDAD                                    | IMPORTANCIA |
|--|-------------|
| Normas ergonómicas y de seguridad industrial | 5           |
| Estados de funcionamiento seguro             | 3.5         |
| Manual de mantenimiento                      | 4.1         |

#### 13.1.1 Evaluación de las necesidades ergonómicas

**13.1.1.1 Normas ergonómicas y de seguridad industrial.** Estas necesidades hacen referencia a la capacidad del sistema de funcionar bajo condiciones seguras para el operario según las normativas de seguridad industrial. Debido a la importancia de tener en cuenta dichas normas de seguridad para el diseño del sistema expulsor se le dio una calificación de 5.

**13.1.1.2 Estados de funcionamiento seguro.** Esta necesidad tiene una valoración media de 3.5 ya que hace referencia a la seguridad del operario con respecto a los diferentes modos de funcionamiento del sistema expulsor.

**13.1.1.3 Manual de mantenimiento.** La aplicación de un manual de mantenimiento está relacionado con la facilidad que tiene el personal o el operario del sistema para realizar tareas de forma segura y eficiente por tal motivo se le dio una calificación de 4.1. El manual se puede observar en el Anexo W.

---

<sup>16</sup> IDSA. Diseño industrial [en línea]. Arlington: IDSA, 2014 [Consultado el: 26 de Mayo del 2014] Disponible en internet: <<http://www.idsa.org/>>

## 13.2 NECESIDADES ESTÉTICAS

**Cuadro 12. Necesidades Estéticas**

| NECESIDAD                         | IMPORTANCIA |
|-----------------------------------|-------------|
| Interfaz amigable para el usuario | 4,8         |
| Buena apariencia                  | 4,3         |

### 13.2.1 Evaluación de las necesidades estéticas

**13.2.1.1 Interfaz amigable para el usuario.** El interfaz amigable es muy importante y recibe una calificación alta de 4.8 ya que dicha necesidad facilita al operario el entendimiento y familiarización con el sistema.

**13.2.1.2 Buena apariencia.** De acuerdo con los requerimientos de la empresa y el deseo de hacer que el sistema expulsor armonice con el diseño de la máquina cortadora se le dio a esta necesidad una calificación alta de 4.3 con el fin de motivar y enorgullecer al personal responsable del área.

## 13.3 VALORACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL

Teniendo en cuenta la evaluación de las necesidades ergonómicas y estéticas se llegó a la siguiente valoración industrial:

**Tabla 1. Valoración del diseño industrial**

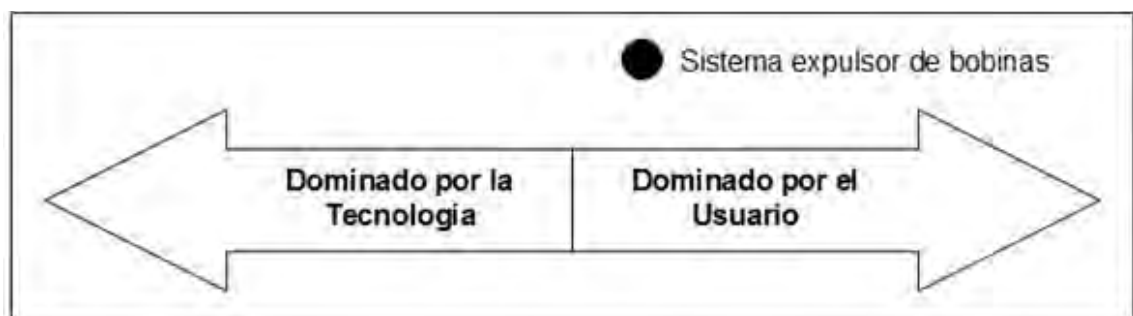
|           | ASPECTO                                      | BAJO | MEDIO | ALTO |
|-----------|--|------|-------|------|
| ERGONOMÍA | Normas ergonómicas y de seguridad industrial |      |       | ●    |
|           | Estados de funcionamiento seguro             |      | ●     |      |
|           | Manual de mantenimiento                      |      | ●     |      |
| ESTÉTICA  | Interfaz amigable para el usuario            |      |       | ●    |
|           | Buena apariencia                             |      | ●     |      |

### 13.4 CLASIFICACIÓN DE LA NATURALEZA DEL PRODUCTO

Los productos se pueden clasificar en dos categorías según sus características: La primera clasificación, son los productos dominados por la tecnología que son los elaborados con el objetivo de cumplir con una tarea técnica con un diseño encaminado a cumplir la mayoría de los requerimientos. La segunda categoría son los productos dominados por el usuario donde los requerimientos ergonómicos y estéticos son los que definen el diseño del producto.

Conforme a lo anterior el sistema expulsor puede considerarse un producto dominado por el usuario ya que los requerimientos ergonómicos priman sobre los requerimientos técnicos pero estos últimos deben tenerse en cuenta durante el desarrollo del diseño para hacer que el sistema sea seguro que cumpla con los requerimientos especificados por la empresa.

**Figura 28. Naturaleza del producto**



### 13.5 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL DISEÑO INDUSTRIAL

Para la evaluación de la calidad del diseño industrial se analizaron 5 requerimientos fundamentales en el desarrollo del sistema expulsor que son: buena apariencia, normas ergonómicas y de seguridad industrial, arquitectura modular, sistema semiautomático y manual de mantenimiento.

**13.5.1 Buena apariencia.** La buena apariencia hace que el sistema sea agradable lo que lo hace atractivo para la empresa y genera en el personal del área una sensación de orgullo y comodidad. Esto puede generar un aumento emocional positivo que puede verse reflejado en una actitud proactiva y como consecuencia genere un aumento en la producción buscando siempre la alta calidad en los procesos.



**13.5.2 Normas ergonómicas y de seguridad industrial.** Cuando se tienen en cuenta las normas ergonómicas y de seguridad industrial se asegura que el sistema expulsor cumpla con todos los requerimientos necesarios para operar sin ningún problema dentro de la industria y evita que con su utilización se incurra en problemas de seguridad. También se cumple con las normas de inocuidad teniendo en cuenta que el sistema tendrá contacto con envolturas que posteriormente tendrán contacto con alimentos y otros artículos de consumo humano.

**13.5.3 Arquitectura modular.** Con la arquitectura modular se asegura que el sistema sea de fácil montaje, fácil reparación y mantenimiento, lo que garantiza facilidad en su utilización y motiva su futura construcción.

**13.5.4 Sistema semiautomático.** El sistema diseñado es semiautomático ya que uno de los requerimientos de la empresa consistía en no tocar la máquina cortadora con el fin de no alterar su forma o funcionalidad para no incurrir en faltas contra las condiciones de garantía exigidas por la empresa fabricante.

**13.5.5 Manual de mantenimiento.** Con la implementación de un manual de mantenimiento se asegura la vida útil y buen funcionamiento del sistema expulsor, se evitan accidentes laborales y retrasos en los procesos de producción.

## 13.6 Valoración de la calidad del diseño industrial

Teniendo en cuenta la evaluación de la calidad del diseño industrial se llegó a la siguiente valoración:

**Tabla 2. Valoración de la calidad del diseño industrial**

| ASPECTO                                      | BAJO | MEDIO | ALTO |
|--|------|-------|------|
| Buena apariencia                             |      |       | ●    |
| Normas ergonómicas y de seguridad industrial |      |       | ●    |
| Arquitectura modular                         |      | ●     |      |
| Sistema semiautomático                       |      |       | ●    |
| Manual de mantenimiento                      |      | ●     |      |

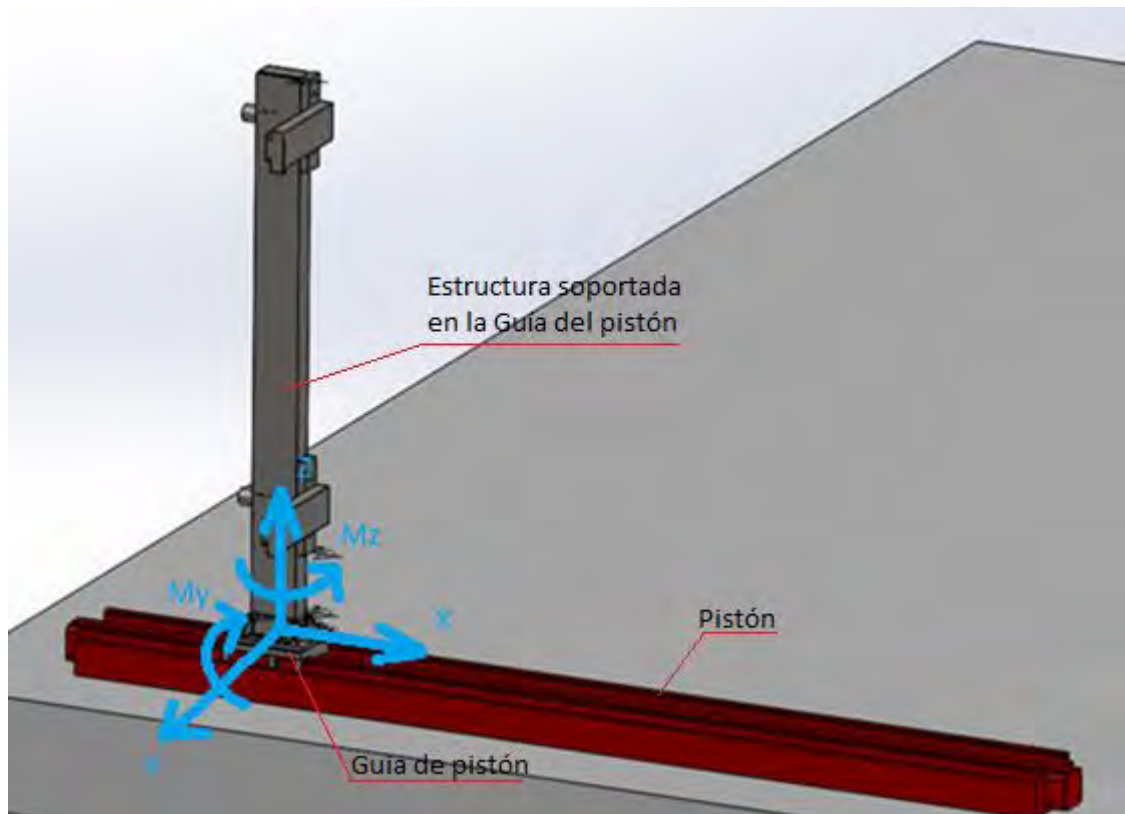
## 14 DISEÑO PARA MANUFACTURA (DPM)

El diseño para manufactura es una metodología en ingeniería, necesaria para reducir costos de fabricación, optimizando las dimensiones del mecanismo al máximo y reduciendo su complejidad, de tal forma que la relación costo-beneficio sea la apropiada y satisfactoria para la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S.

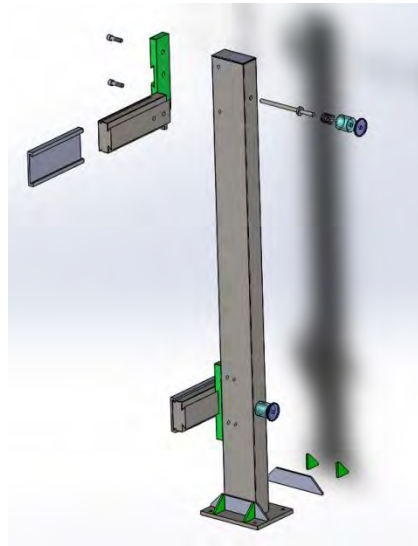
En éste orden de ideas, lo primero que se observa, es que se necesita conocer cada una de las partes del mecanismo expulsor de bobinas con el propósito de cotizar su valor y haciendo uso del método de ingeniería PARETO 80/20 se seleccionan las partes a optimizar en su diseño y complejidad.

Gracias al software SOLIDWORKS© una forma interactiva de ver la estructura se muestra en las Figuras 29, 30, 31 y 32. Para mayor información de las partes de la estructura se puede consultar desde el título “**Diseño detallado**”.

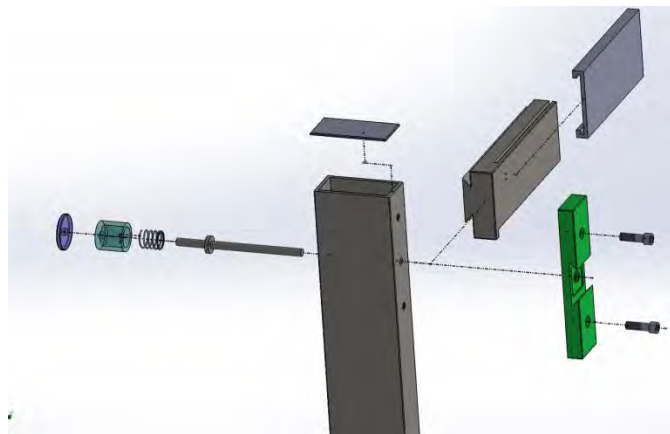
**Figura 29. Diseño final del proyecto**



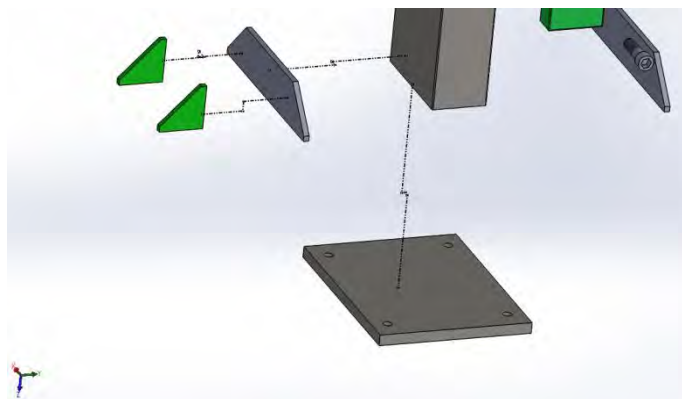
**Figura 30. Estructura soportada en la guía del pistón, vista completa**



**Figura 31. Estructura explosionada, parte superior**



**Figura 32. Estructura explosionada, parte inferior**



## 14.1 TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN

Con objetivo de definir el costo de producción del sistema de expulsión de bobinas se hace una estimación de cantidad de tareas a realizar como se muestra en la Figura 33.

**Nota:** Es importante resaltar que no se tiene en cuenta los tiempos de transporte.

**Figura 33. Tiempos de construcción del sistema**

| Etapa       | Proceso                        | Operación                      | pieza de proceso  | Cantidad de operaciones | Tiempo/operación (min.) | Tiempo estimado (horas) |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Mecánica    | Torneado                       | prelistamiento                 | retenedor   | 2                       | 15                      | 0,50                    |
|             |                                | refrentado                     |   | 2                       | 15                      | 0,50                    |
|             |                                | cilindrado                     |   | 2                       | 45                      | 1,50                    |
|             |                                | tronzado                       |   | 2                       | 15                      | 0,50                    |
|             | Frezado                        | prelistamiento                 | brazo, guía para brazo, rigidizador y base de pelin         | 24                      | 20                      | 8,00                    |
|             |                                | refrentado                     |   | 24                      | 45                      | 18,00                   |
|             |                                | ranurado (en T y cola milano)  |   | 6                       | 20                      | 2,00                    |
|             | Ensamble                       | corte                          | Todos los componentes                                       | 24                      | 15                      | 6,00                    |
|             |                                | Soldadura                      |   | 9                       | 40                      | 6,00                    |
|             |                                | Aseguramiento                  |   | 8                       | 1                       | 0,13                    |
| taladrado   | prelistamiento taladrado       | brazo, base de perlin y perlin | 14  | 12                      | 2,80                    |                         |
| Estética    | Proteccion anticorrociva       | Galvanizado                    | toda la estructura armada                                   | 1                       | 30                      | 0,50                    |
| Eléctrica   | ensamble de actuador           | ensamble de equipo neumático   | electrovalvula, fuente y PLC, fuente, PLC, panel de control | 1                       | 8                       | 0,13                    |
|             | cableado                       | red electrica                  |   | 2                       | 20                      | 0,67                    |
|             | ensamble de componentes        | ensamble de caja de control    |   | 13                      | 0,08                    | 0,02                    |
|             |                                | seguridad                      |   | 1                       | 1                       | 0,02                    |
|             |                                | Aseguramiento                  |   | 30                      | 0,2                     | 0,10                    |
| Neumática   | ensamble de actuador           | Cilindro tubing                | Cilindro, unidad de mantenimiento, valvula                  | 1                       | 0,2                     | 0,00                    |
|             |                                |                                |   | 6                       | 6                       | 0,60                    |
|             | red neumática                  | complementario                 | electrovalvula, tuberias y                                  | 2                       | 2                       | 0,07                    |
|             | ensamble                       | Aseguramiento                  |   | 4                       | 2                       | 0,13                    |
| Control     | Ensamble de PLC                | Aseguramiento                  | tablero de control, PLC elctrovalvula y finales de carrera  | 1                       | 5                       | 0,08                    |
|             | Ensamble de tablero de control | Aseguramiento                  |   | 1                       | 1                       | 0,02                    |
|             | cableado                       |                                |   | 30                      | 0,15                    | 0,08                    |
| Pruebas     | Prueba electrónica             |                                |   | 1                       | 30                      | 0,50                    |
|             | Prueba mecánica                |                                |   | 1                       | 30                      | 0,50                    |
|             | Prueba neumática               |                                |   | 1                       | 30                      | 0,50                    |
|             | Prueba de control              |                                |   | 1                       | 30                      | 0,50                    |
|             | Pueba total                    |                                |   | 1                       | 30                      | 0,50                    |
| Total horas |                                |                                |   |                         |                         | 50,85                   |

## 14.2 ESTIMACIÓN DE COSTOS

En el proceso se tuvo en cuenta los costos de manufactura del sistema de expulsión de bobinas, incluyendo los costos de los componentes, los costos de ensamble y otros costos adicionales.

Para la definición de los costos en éste aspecto, se dividieron los componentes necesarios para cada uno de los sub-sistemas de la máquina como se puede ver a continuación:

#### 14.2.1 Sistema mecánico

**Cuadro 13. Costo de materiales para sistema mecánico**

| Descripción                             | Pieza                              | Cant. | Precio/Unit.<br>(IVA incl.) | Precio<br>Total |
|---|------------------------------------|-------|-----------------------------|-----------------|
| Perfil O 5x10x200cm<br>AISI 1020        | Perlín                             | 1     | \$ 30.000                   | \$ 30.000       |
| Barra cilíndrica<br>R3x60cm AISI1020    | Retenedor                          | 1     | \$ 35.000                   | \$ 35.000       |
| Barra rectangular<br>5X9X50cm AISI 1020 | Brazo                              | 1     | \$ 60.000                   | \$ 60.000       |
| Lamina 0,5x20x40cm<br>AISI 1020         | Rigidizadores, tapa                | 1     | \$ 25.000                   | \$ 25.000       |
| Barra 3x6x42cm AISI<br>1020             | Guía para brazo                    | 1     | \$ 32.500                   | \$ 32.500       |
| tornillo M8                             | para relación<br>Pistón-Estructura | 4     | \$ 400                      | \$ 1.600        |
| tornillo 3/8" 24 hilos                  | para relación Perlín<br>guía       | 4     | \$ 400                      | \$ 1.600        |
| Total                                   |                                    |       |                             | \$ 185.700      |

Ya contando con los materiales necesarios para la construcción del sistema de expulsión de bobinas, se procede a cuantificar el costo de mano de obra del proceso, el cual va ser maquilado. Los datos recopilados en el Cuadro 15 se asocian directamente al Cuadro 13.

**Cuadro 14. Costo de proceso maquinado**

| <b>Proceso</b>                        | <b>Costo/Hora</b> | <b>Horas</b> | <b>Costo TOTAL</b> |
|---------------------------------------|-------------------|--------------|--------------------|
| torneado                              | \$ 10.000         | 3            | \$ 30.000          |
| frezado                               | \$ 10.000         | 28           | \$ 280.000         |
| ensamblado (soldadura)                | \$ 10.000         | 12,13        | \$ 121.300         |
| taladrado                             | \$ 10.000         | 2,8          | \$ 28.000          |
| galvanizado                           | \$ 10.000         | 0,5          | \$ 5.000           |
| ensamblado (Componentes electrónicos) | \$ 25.000         | 0,93         | \$ 23.250          |
| ensamblado (componentes neumáticos)   | \$ 25.000         | 0,8          | \$ 20.000          |
| ensamblado (componentes de control)   | \$ 40.000         | 0,18         | \$ 7.200           |
| Pruebas finales                       | \$ 45.000         | 2,5          | \$ 112.500         |
| <b>Total</b>                          |                   | <b>50,84</b> | <b>\$ 627.250</b>  |

**14.2.2 Sistema eléctrico****Cuadro 15. Costo sistema eléctrico y electrónico**

| <b>Componente</b>               | <b>Cant.</b> | <b>Precio Unitario</b> | <b>Precio Total</b> |
|---------------------------------|--------------|------------------------|---------------------|
| PLC familia dvp sv2             | 1            | \$ 736.125             | \$ 736.125          |
| Fuente de alimentación 24v DC   | 1            | \$ 96.734              | \$ 96.734           |
| Fabricación de panel de control | 1            | \$ 160.455             | \$ 160.455          |
| Sensor de presencia             | 1            | \$ 83.522              | \$ 83.522           |
| Final de carrera                | 1            | \$ 5.000               | \$ 5.000            |
| Relee 24v DC                    | 1            | \$ 2.000               | \$ 2.000            |
| Fusible 220v AC 3A              | 1            | \$ 12.100              | \$ 12.100           |
| Cable De Cobre Calibre 10 (C/m) | 10           | \$ 1.450               | \$ 14.500           |
| <b>Total</b>                    |              |                        | <b>\$ 1.110.436</b> |

**Fuente:** MICRO, ver Anexo T

### 14.2.3 Sistema neumático

**Cuadro 16. Costo sistema neumático**

| Descripción                              | Cant. | Precio Unit.  | Precio Total  |
|--|-------|---------------|---------------|
| Silenciador                              | 2     | \$ 10.621     | \$ 21.242     |
| Conectores 8mm                           | 3     | \$ 4.390      | \$ 13.170     |
| Conectores 8mm                           | 2     | \$ 6.261      | \$ 12.522     |
| Unidad de mantenimiento FRL              | 1     | \$ 193.977    | \$ 193.977    |
| Tubo poliuretano diámetro 8mm            | 1     | \$ 4.435      | \$ 4.435      |
| Electroválvula 5/2                       | 1     | \$ 205.383    | \$ 205.383    |
| Pistón sin vástago serie micro 40 mm GHD | 1     | \$ 12.732.700 | \$ 12.732.700 |
| Montaje pie para cilindro 40mm           | 1     | \$ 80.790     | \$ 80.790     |
| Válvula manual                           | 1     | \$ 20.000     | \$ 20.000     |
| Total                                    |       |               | \$ 13.284.219 |

**Fuente:** MICRO, ver a Anexo T y Anexo U.

### 14.3 COSTO TOTAL

Por último se suman los costos totales necesarios para la construcción del sistema de expulsión de bobinas, como se muestra a continuación:

**Cuadro 17. Costo total del sistema**

| Descripción             | Costo (\$) | Peso (%) |
|-------------------------|------------|----------|
| Materiales              | 185.700    | 1        |
| Maquilado               | 627.250    | 4        |
| Eléctrico y electrónico | 1.110.436  | 7        |
| Neumático               | 13.284.219 | 87       |
| Total                   | 15.207.605 | 100      |

Por medio del método de ingeniería PARETO, se determina que sólo un 4% del total de los componentes del proyecto representa un 84% del costo total del proyecto como se muestra en el Cuadro 18, esto se debe a que la ítem más costoso del proyecto es el pistón neumático, ya que éste producto es importado desde Alemania.

Finalmente, es importante aclarar que reducir estos costos de cotización no es un objetivo prioritario para el proyecto, a menos de que se pudiera rediseñar el pistón.



## **15 DISEÑO PARA MANTENIMIENTO**

Con el fin de dar cumplimiento a las normas de seguridad industrial, la empresa se ve obligada a implementar medidas para la prevención de accidentes laborales, una de esas medidas es el mantenimiento de equipos y herramientas que además de cumplir la función de productividad deben reducir riesgos en su utilización para los operarios. Para ello se tienen 5 tipos de mantenimiento: el mantenimiento correctivo, el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo, el mantenimiento cero horas y mantenimiento en uso.<sup>17</sup>

Mantenimiento en uso, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo. El primero se propone con el objetivo de mantener en buen estado las condiciones básicas del sistema además de incentivar en los operarios un sentido de pertenencia y responsabilidad, el segundo tiene como fin prevenir y evitar futuros fallos en el sistema programando revisiones sistémicas donde se examinen ciertas condiciones de funcionamiento; el mantenimiento correctivo tiene la función de corregir fallos repentinos que puedan presentarse en algún debido momento.

Para facilitar el mantenimiento, el sistema expulsor fue diseñado con una arquitectura modular en donde los elementos están ubicados de manera tal que se puede acceder fácilmente a ellos para su mantenimiento en uso, también se proporcionaron diagramas que representan la disposición de los componentes que hacen parte de los subsistemas mecánicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos.

Para proteger y prolongar la vida útil de los elementos, se implementaron protecciones eléctricas y una unidad para el tratamiento del aire que alimenta el sistema neumático.

### **15.1 DISEÑO PARA LA SEGURIDAD INDUSTRIAL.**

Teniendo en cuenta la reglamentación sobre las condiciones para la seguridad industrial, el sistema fue diseñado con el objetivo de evitar las malas posturas y sobreesfuerzos del operario durante la expulsión de las bobinas. El panel de control del sistema expulsor fue ubicado a una altura de 1,60 metros del nivel del suelo garantizando una posición erguida por parte del operario durante su

---

<sup>17</sup> Renovetec. Mantenimiento Industrial - Tipos de mantenimiento [en línea]. [Consultado el: 30 de Mayo del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.renovetec.com/index.php/mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento> >

utilización. El sistema fue dotado también con un sensor de presencia que detiene el funcionamiento del sistema evitando lesiones del operario causadas por el mecanismo, esta función también la desempeña el botón de parada de emergencia que puede ser presionado por el personal si se presenta alguna falla o accidente.

Se aseguró que el sistema no tuviese partes que sobresalieran en gran medida de la estructura o del área segura de funcionamiento, de tal forma que el operario no pudiese golpearse el rostro o tropezar con el mecanismo. Los elementos eléctricos y electrónicos se encuentran a cierta distancia del suelo para evitar electrocución por derramamiento de líquidos y cuentan con las protecciones y aislamientos recomendados.

## 16 DISEÑO PARA EL MEDIO AMBIENTE

El diseño para el medio ambiente se hace con el fin de reducir al mínimo el impacto ambiental que puede provocar el sistema de expulsión de bobinas sobre el entorno. Para lograr esto se realiza un análisis a diferentes aspectos o características de la máquina que generan o pueden generar efectos negativos sobre el ambiente bien sea directa o indirectamente. A partir de esto, se evalúan los materiales, el consumo, los desechos generados por la máquina, las emisiones, el ciclo de vida del producto entre otros. A continuación se muestran los objetivos del diseño para medio ambiente:

Reducir el consumo de energía, materiales y desechos.

Identificar qué etapa del proceso de producción produce el mayor impacto, con el objetivo de reducirlo.

Identificar las oportunidades de diseño para reducir los puntos de más alto impacto.

### 16.1 INVENTARIO

**16.1.1 Lista de materiales.** Es importante aclarar que la inocuidad del mecanismo solo es requerida en la superficie que va a estar en contacto con el producto final o bobina, además se debe tener en cuenta la flexibilidad necesaria de dicha superficie para que la bobina no se deforme al contacto. Éste tipo de precauciones evitan el desecho de material valioso para la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S, de acuerdo a las normas de calidad exigidas por el cliente. Por tanto, los materiales seleccionados son: el Empac P.E. (Polietileno de alta densidad) y el resto de la estructura requiere exigencias mecánicas moderadas por tanto se usa acero AISI 1020:

**16.1.1.1 Acero AISI 1020.** Es un acero práctico para implementar en el proyecto debido a que sus características físicas le permiten alongarse de forma segura en caso de fallo y se consumen muy pocos recursos para maquinarlo.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Ferroaceros. Productos – AISI 1020 [en línea]. [Consultado el: 5 de Agosto del 2014]. Disponible en internet: <<http://ferraceros.com.co/Productos/Carbono1020.htm> >

**16.1.1.2 El Acero Galvanizado.** De ser galvanizado el acero AISI 1020, se le agregarían las siguientes propiedades: duración excepcional, resistencia mecánica elevada, triple protección: barrera física, protección electroquímica y autocurado, ausencia de mantenimiento y fácil de pintar.

**16.1.1.3 Empac P.E.** Es el material óptimo para la superficie de contacto con el producto de la empresa, ya que está aprobado para la manipulación de alimentos y debido a sus características físicas es adecuado para el ambiente industrial.<sup>19</sup>

Por su vida útil y por la preservación que brinda a los elementos de arrastre o rozamiento, el costo comparativo frente a los materiales convencionales es inferior.<sup>20</sup>

**16.1.1.4 Materiales utilizados en el sistema eléctrico y electrónico.** Teniendo en cuenta los componentes utilizados para el diseño del sistema eléctrico y electrónico se puede deducir que en su mayoría están compuestos por materiales reciclables entre los que se destacan el plástico, el acero, el aluminio y el cobre.

**16.1.2 Ciclo de vida del producto.** Según las buenas prácticas de mantenimiento y buen uso del sistema de expulsión de bobinas, se estimó un ciclo de vida de 10 años debido a las características físicas de sus materiales.

Para el manejo de desechos del sistema se usa la unidad de mantenimiento FRL que retiene las partículas de humedad y polvo que salen de la red de aire comprimido de la empresa.

La implementación del sistema eléctrico y electrónico puede generar un impacto ambiental indirecto debido a los procesos que deben llevarse a cabo para producir cada uno de los componentes que hacen parte del sistema, lo que es inherente a la implementación del mismo. Es aquí entonces donde puede afirmarse que el sistema no produce un impacto ambiental directo y que una vez cumplido su ciclo útil, los materiales pueden ser recolectados y desechados cumpliendo con las normativas de reciclaje locales y de la empresa.

---

<sup>19</sup> Metalplasticss. Productos – Polietileno [en línea]. [Consultado el: 5 de Agosto del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.metalplasticsas.com/PlasticosIngenieriaEmpackPolietileno.html>>

<sup>20</sup> Alcaldía de Bogotá. Normas – RESOLUCIÓN 2674 DEL 2013 [en línea]. [Consultado el: 5 de Agosto del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=54030>>

## **16.2 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL**

A continuación se evaluarán los dos procesos más importantes del sistema de expulsión de bobinas, que a su vez son las que más influyen en el impacto ambiental. Para esto se analizaron los equipos o dispositivos que intervienen, la eficiencia energética, el uso, el reciclaje y reutilización posible del mismo.

**16.2.1 Expulsión.** Debido a que la intervención del mecanismo es netamente mecánico su impacto ambiental es mínimo, ya que el único desecho que tiene depende de la red neumática de la empresa, el cual es retenido por la unidad de mantenimiento FRL del mecanismo. Dicho desecho, tiene partículas de aceite lubricador para máquinas, humedad (agua) y de polvo, el cual, se puede procesar de forma adecuada en circuito de cerrado de abastecimiento de agua.

**16.2.2 Control.** Los sistemas de control son adecuados para implementación industrial, su consumo de energía se puede mejorar dependiendo de la complejidad del algoritmo o tareas a realizar. A pesar de ello, puede llegar el momento de fallo, en cual uno o varios componentes consumen más de lo común, en caso de un cortocircuito, el sistema tiene señales de advertencia que deben ser evaluados periódicamente para corregir el consumo nominal del mecanismo de expulsión de bobinas.

## 17 DISEÑO DETALLADO

El diseño detallado es el método por el cual se describe la composición y funcionamiento de cada uno de los sistemas que necesita el proyecto para funcionar correctamente, desde luego, éste es determinante para observar los cambios que se han venido dando desde inicio del proyecto.

### 17.1 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

Es importante aclarar que las medidas y capacidades de la máquina cortadora, son relativas al pedido de la producción deseado del cliente, por lo tanto las dimensiones y materiales de cada sistema de expulsión son variables.

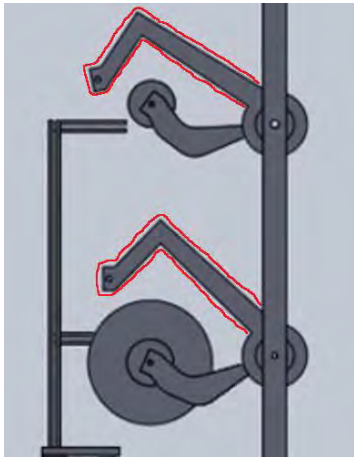
### 17.2 ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA

**Cuadro 18. Especificaciones para el desarrollo del diseño**

| ESPECIFICACIONES DE DISEÑO |       |            |
|----------------------------|-------|------------|
| ESPECIFICACIÓN             | VALOR | UNIDAD     |
| CAPACIDAD                  | 120   | Kilogramos |
| FUENTE DE ENERGÍA          | 110   | Voltios AC |
| PRESIÓN DE AIRE            | 6     | Bar        |
| ALCANCE DE EXPULSIÓN       | 2     | Metros     |

Dentro de las especificaciones del sistema se encontró que la presencia del chasis antiestática de la máquina TITAN, puede obstruir el contacto entre el manipulador y la bobina como se muestra a continuación:

**Figura 34. Chasis antiestática**



Otra especificación importante que se tuvo en cuenta para el diseño del sistema es que los diámetros de los ejes donde están soportadas las bobinas son de 3" y 6" de diámetro.

Las tres primeras necesidades del cliente relacionadas con la ergonomía del sistema y deducidas de la QFD se pueden encontrar en el Cuadro 11, las cuales son muy importantes para el desarrollo del diseño del prototipo 3D, ya que permiten un estudio de ingeniería detallado.

### **17.3 ECUACIONES MATEMÁTICAS A TENER EN CUENTA**

A la hora de diseñar el sistema de expulsión se hace necesario tener un conocimiento mínimo de algunas herramientas básicas, para la comprender la obtención de las medidas reales del actuador, ya sea su diámetro, volumen, largo, entre otros.

**Ecuación 1.**  $Q=2*n*s*q$

Donde Q es el consumo de aire para cilindros de doble efecto (litros/cm)  
2 significa de doble efecto, n es el número de ciclos, s la longitud de la carrera en cm y q es el consumo de aire por centímetro de carrera (litros/cm).

**Ecuación 2.**  $F=Ma$

Donde F es fuerza, M es la masa y a la aceleración

### **Ecuación 3. $F = P \cdot A$**

Donde F es fuerza en newtons, P es presión en pascales y A es área en metros cuadrados.

### **Ecuación 4. $F = k \Delta x$**

Donde F es fuerza en newtons, k es la constante de elasticidad de un resorte en kilogramo sobre segundo cuadrado y  $\Delta x$  es una distancia recorrida en metros.

**Ecuación 5.** 
$$\frac{M_x}{M_{x\text{máx}}} + \frac{M_y}{M_{y\text{máx}}} + \frac{M_z}{M_{z\text{máx}}} + \frac{F_y}{F_{y\text{máx}}} + \frac{F_z}{F_{z\text{máx}}} \leq 1$$

Donde los M son momentos reales generados en los ejes de coordenadas X, Y, y Z. y Mmax son los momento máximos que resiste el pistón en los ejes de coordenadas X, Y, y Z.

## **17.4 DISEÑO DE MECANISMO PARA MEDIR FUERZA**

A continuación se procede a analizar la forma como se deducen las medidas del sistema de expulsión, por medio de ecuaciones matemáticas, consideraciones de diseño y especificaciones del cliente.

**17.4.1 Análisis de mecanismo para medir fuerza.** Para la selección del cilindro neumático, y su correcto funcionamiento en el sistema, se debe tener en cuenta algunos factores importantes:

La fuerza ejercida por el operario para expulsar las bobinas más pesadas de la máquina cortadora.

El alcance o distancia a la que se debe empujar la bobina para ser totalmente expulsada de la máquina cortadora.

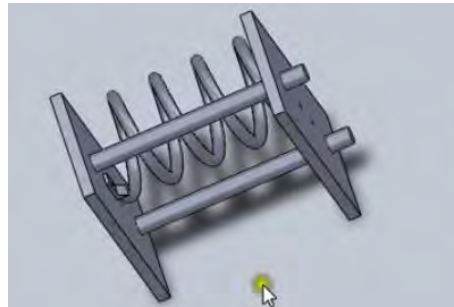
La fuerza opuesta al movimiento de la expulsión de las bobinas teniendo en cuenta la estructura completa del brazo expulsor.

Para hallar la fuerza necesaria para mover una bobina de 120 kilogramos en dirección horizontal, fue necesario diseñar un mecanismo conformado por un



resorte y dos placas, dando como resultado las propuestas de diseño que se muestran en las Figuras 35, 36 y 37.

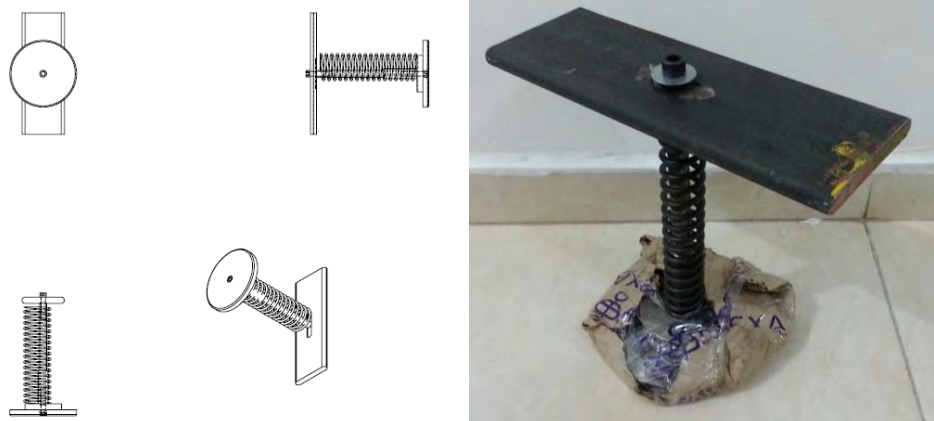
**Figura 35. Primera propuesta**



**Figura 36. Segunda propuesta**



**Figura 37. Diferentes vistas del diseño final del mecanismo para medir fuerza**



Para mayor información sobre los planos de las partes del mecanismo para medición de fuerza se pueden observar en el ANEXO C, Anexo E, Anexo F y el Anexo G.

Una vez terminada la manufactura del mecanismo para medir fuerza se procede a calcular el coeficiente de elasticidad del resorte realizando con la ayuda de la Ecuación 4. A continuación observa el procedimiento que se le realizó a 8 diferentes muestras o masas para hallar el coeficiente de elasticidad del resorte del mecanismo:

$$F \cong k * \Delta x$$

Para una masa de  $M = 18,6\text{kg}$ , el resorte puesto en dirección vertical se comprimió  $x_2 = 10,8\text{mm}$  del punto de referencia por efecto de la gravedad.

$$\frac{M * g}{\Delta x} \cong k; M = 18,6\text{kg}; g \cong \frac{9,77\text{m}}{\text{s}^2}; x_1 = 4,05\text{mm}; x_2 = 10,8\text{mm}$$

**Nota:** Es importante aclarar que en estado de reposo el resorte siempre está a  $x_1 = 4,05\text{mm}$  del punto de referencia y que la gravedad en la ciudad de Cali es  $g \cong 9,77\text{m/s}^2$ .

$$\frac{18,6\text{kg} * (-\frac{9,77\text{m}}{\text{s}^2})}{(-10,8 + 4,05) * 10^{-3}\text{m}} \cong k$$

$$k \cong \frac{26.921,78\text{kg}}{\text{s}^2}$$

**Cuadro 19. Resultados de 8 muestras diferentes para la obtención del k del resorte**

| No. de muestra | M(Kg) | L(mm) | k(kg/s^2) |
|----------------|-------|-------|-----------|
| 1              | 18,6  | 10,80 | 2,69E+04  |
| 2              | 12,8  | 8,70  | 2,68E+04  |
| 3              | 10,3  | 7,80  | 2,67E+04  |
| 4              | 8,5   | 7,15  | 26.647    |
| 5              | 6,4   | 6,40  | 2,65E+04  |
| 6              | 5,7   | 6,15  | 2,64E+04  |
| 7              | 3,2   | 5,25  | 2,58E+04  |
| 8              | 2,2   | 4,90  | 2,53E+04  |
| Promedio       |       |       | 2,64E+04  |

Para hallar la fuerza que aplica un operario a una bobina para moverla por primera vez al intentar expulsarla de la máquina cortadora se utiliza la expresión de la **Ecuación 4** como se muestra a continuación

$$\textbf{Ecuación 6. } F \cong \frac{26.392,27Kg}{s^2} * (x_2 - 4,05) * 10^{-3}m$$

**Nota:** es importante tener en cuenta que la aplicación de la fuerza que hace un operario sobre una bobina es en dirección horizontal, por tanto, el efecto de la gravedad se desprecia para el comportamiento del resorte como se observa en la **Ecuación 6**.

En la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S, la máxima capacidad que se le asigna a una máquina cortadora TITAN es de 120 kilogramos, que representa la bobina más grande que sale de la máquina. A continuación se halla la fuerza aplicada sobre una bobina de 43,3 kg que comprimió el resorte  $x_2 = 9mm$  despejando en la **Ecuación 6**:

$$F \cong \frac{26.392,27Kg}{s^2} * (9 - 4,05) * 10^{-3}m$$

$$F \cong 133,26N$$

**Nota:** Para efectos prácticos y evitar la continua interrupción del proceso en el área de corte, se asume que la relación PESO-FUERZA es lineal.

A continuación se realiza una regla de tres con la máxima capacidad asignada a la máquina cortadora, que es de 120kg:

$$F_{max} \cong 120kg \frac{133,26N}{43,3kg}$$

$$F \cong 372N$$

Finalmente, se concluye que la máxima fuerza que debe hacer un operario para desplazar la bobina más grande (120kg) es de 372 N aproximadamente.

## 17.5 DISEÑO PARA SELECCIÓN DE PISTÓN

Para llegar al prototipo final del brazo mecánico se tuvo que pasar por diseño para manufactura, donde el pistón neumático Micro GHD 40mm (véase ANEXO

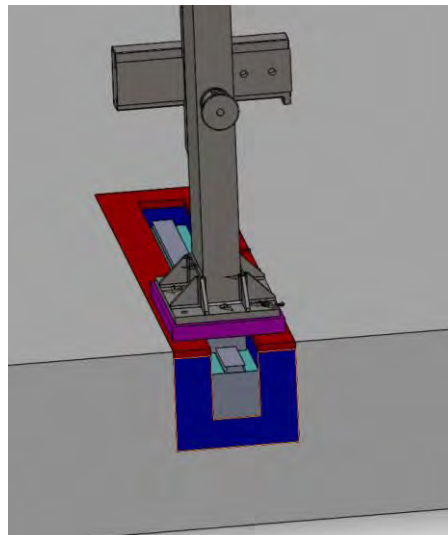
X) daba solución a presencia de grandes torques en la plataforma donde va puesta la estructura que mueve las bobinas, remplazando 3 componentes del sistema propuesto que se ve en la Figura 38:

Plataforma guía para el pistón (zona de color morado de la Figura 38).

Guía para estabilización de la estructura hecha en plástico industrial (zona de color rojo en la Figura 38).

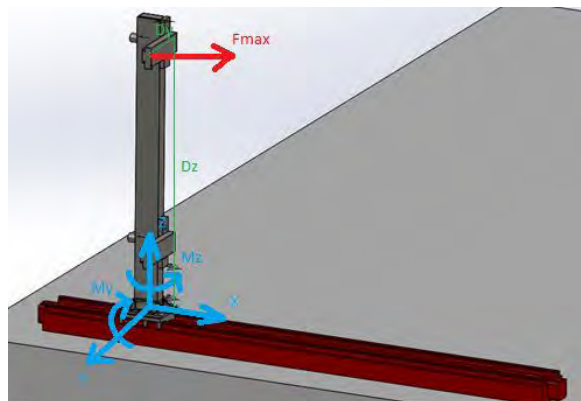
Obra civil para poner el pistón debajo del nivel del piso (zona de color azul en la Figura 38).

**Figura 38. Propuesta para estabilidad de plataforma del actuador**



A continuación se muestra como es la visualización 3D del pistón respecto al brazo del sistema, el cual está documentado en el título “**Diseño de brazo expulsor**”.

**Figura 39. Diseño final del sistema (pistón neumático en color rojo)**



**17.5.1 Análisis para selección de pistón.** Es importante aclarar que el pistón seleccionado en el proyecto no es el único que existe en el mercado, esto se debe a que cotizar elementos del sistema no es el objetivo principal en éste caso.

Para la selección del actuador son necesarios los requerimientos que se muestra a continuación:

El peso de la estructura que va encima de la plataforma del actuador.

Los momentos generados por la fuerza que realiza el operario para empujar una bobina de 120kg en la máquina TITAN.

Con la ayuda del software SolidWorks© se determinó que el peso de la estructura que lleva encima el actuador es de 38kg aproximadamente, que en el eje Z de Figura 39 representa una fuerza de 371,3N aproximadamente.

En base a los ejes de coordenadas de la Figura 39 se determina que los momentos críticos que existen son:

$$My = Dz * Fmax$$

$$Mz = Dy * Fmax$$

$$\text{Si } Dz \cong 1.33m, Dy \cong 0.21m \text{ y } Fmax \cong 372N$$

$$My \cong 421,5Nm$$

$$Mz \cong 77,3Nm$$

Ya obtenido los requerimientos necesarios para determinar el actuador que se necesita, se procede a hallar el nivel de confiabilidad del pistón con la **ecuación 5** observando los datos del pistón MICRO GHD 40mm que se pueden ver en el ANEXO X.

$$\frac{My}{My_{\max}} + \frac{Mz}{Mz_{\max}} + \frac{Fz}{Fz_{\max}} \leq 1$$

Como se puede observar en la **ecuación 5** el resultado de la suma de los cocientes debe ser menor que uno, para que el actuador pueda servir para el proyecto como se muestra a continuación:

$$\frac{421,5}{1100} + \frac{77,3}{1100} + \frac{371,3}{15000} \cong 0.5$$

## 17.6 DISEÑO DE BRAZO EXPULSOR

Debido a que el actuador requerido para el sistema, cuenta con una estructura lo suficientemente rígida para soportar las fuerzas y momentos que aparecen al mover una bobina de 120 kg, solo resta diseñar una extensión lo suficientemente larga para cumplir la función de un brazo desde el actuador a la bobina.

Para el diseño de la estructura del brazo se tuvo en cuenta las siguientes especificaciones:

La distancia necesaria que debe tener el sistema respecto al chasis antiestático (véase Figura 34) de la máquina cortadora y los ejes donde van las bobinas.

La distancia entre los brazos más pequeños (véase Figura 45).

La distancia que existe entre la plataforma del pistón y primer brazo (véase Figura 45).

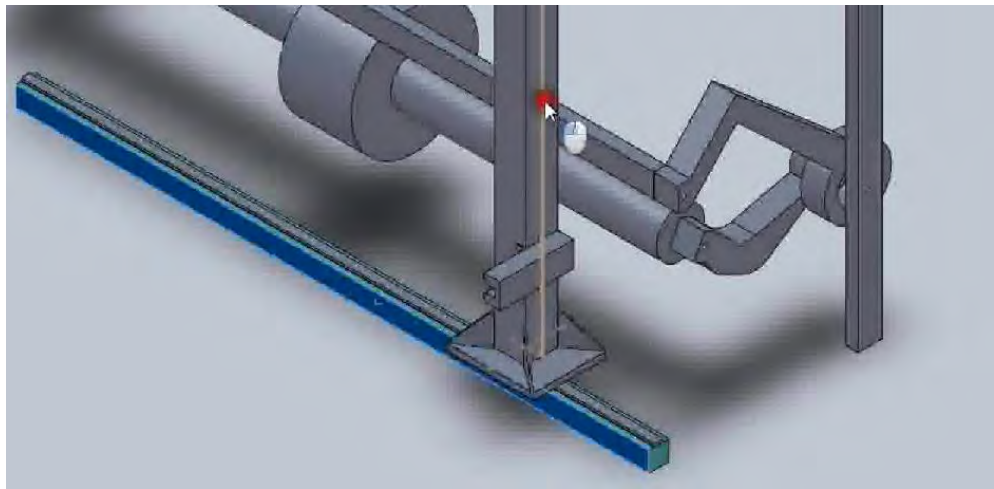
La inocuidad de la zona de contacto (material del plano en ANEXO S).

El factor de seguridad del diseño.

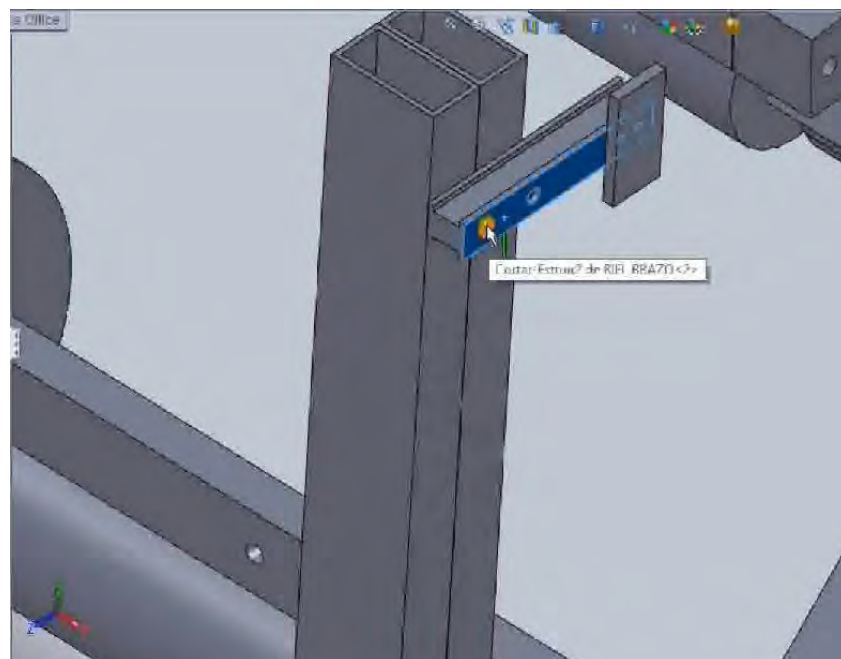
Su utilidad con respecto a los diámetros de los ejes de 3" y 6", donde van las bobinas.

Durante el desarrollo del proyecto se propusieron diferentes alternativas de diseño para la estructura que va ir encima del actuador, dando como resultado las propuestas que se muestran en las Figuras 40, 41, 42 y 43:

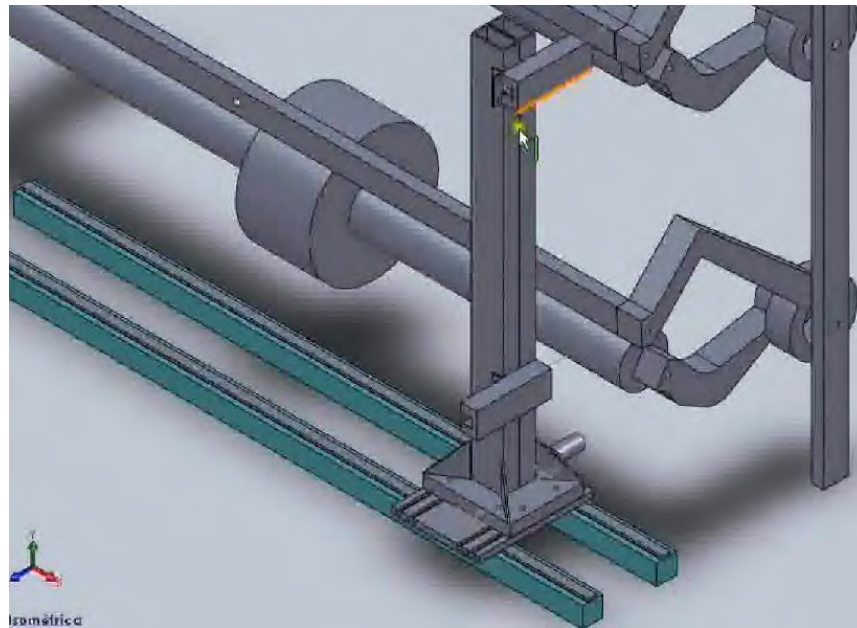
**Figura 40. Primera propuesta**



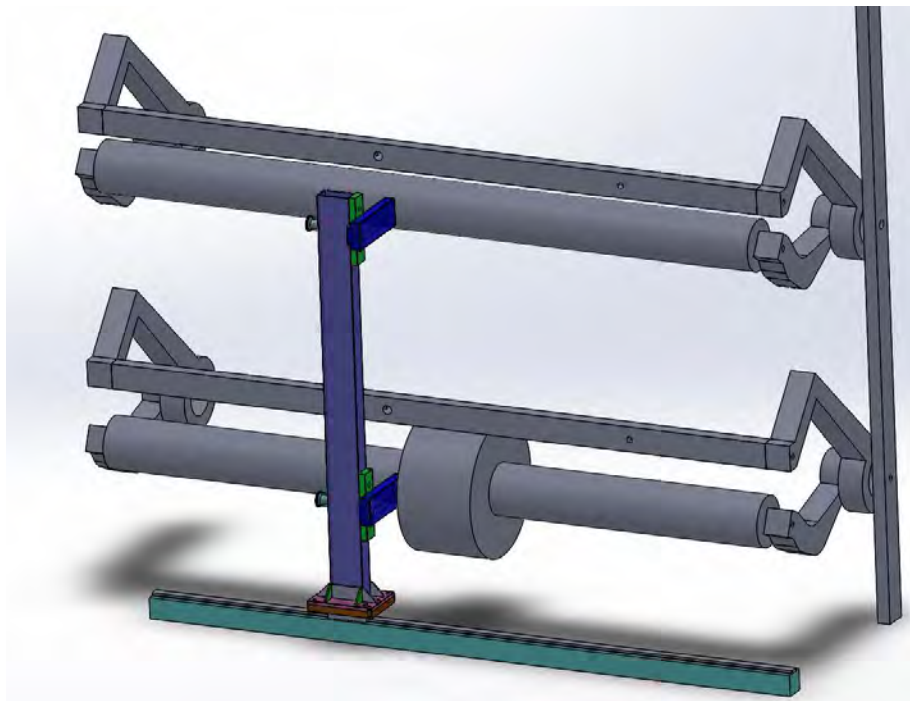
**Figura 41. Segunda propuesta**



**Figura 42. Tercera propuesta**



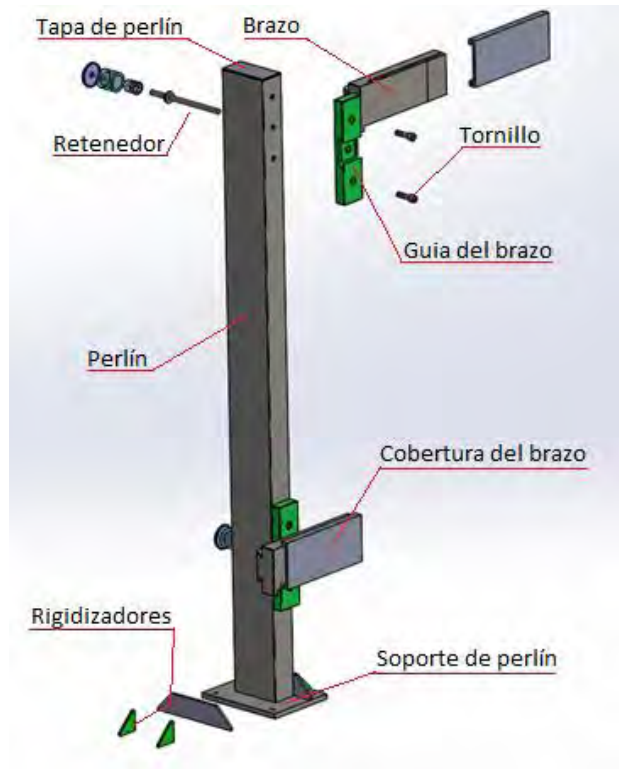
**Figura 43. Diseño final**





### 17.6.1 . Análisis de brazo expulsor

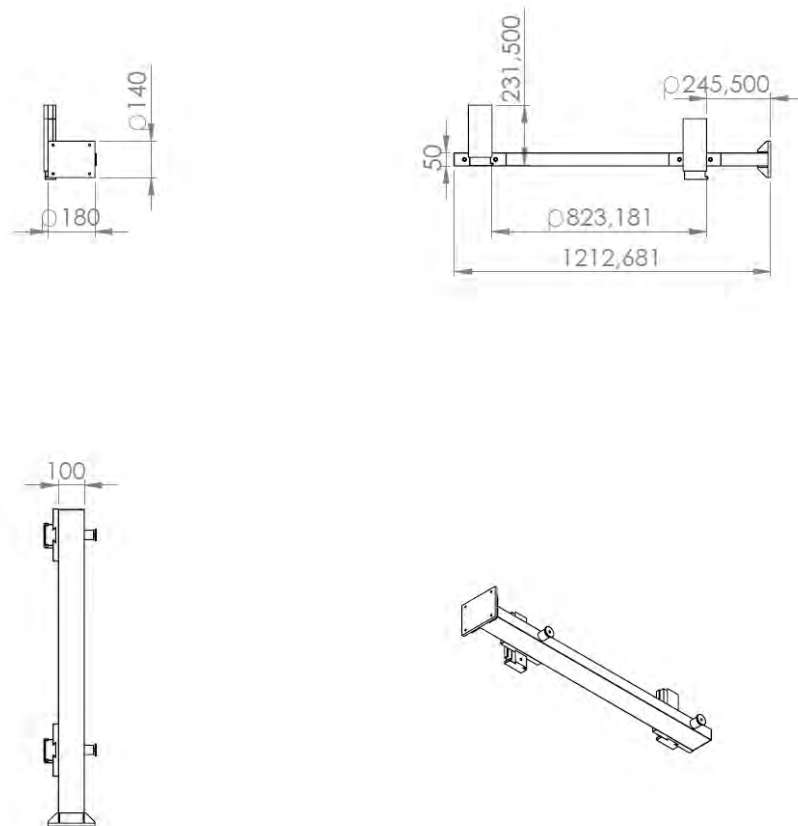
**Figura 44. Estructura final**



En la Figura 44 se puede observar que solo se describe el brazo expulsor. Éste es el sistema más complejo que tiene el proyecto, debido a su estructura, capacidad de carga y versatilidad.

Una vez terminado el diseño final del mecanismo, se generaron los planos, medidas y dimensiones. A continuación se muestran las mediadas más relevantes para el sistema, para mayor información consultar los planos que se encuentran desde el Anexo H hasta el Anexo S.

**Figura 45. Vista inferior, lateral derecha, frontal e isométrica del mecanismo**

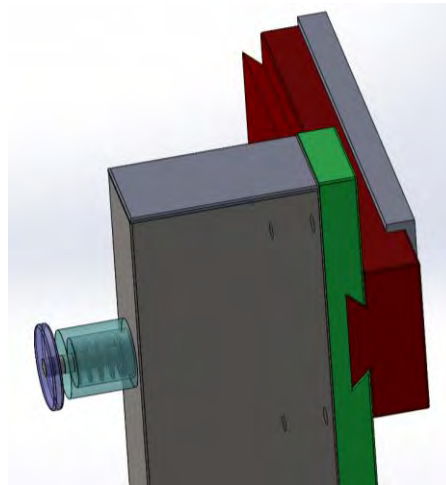


**Nota:** las magnitudes son milimétricas. Las medidas que llevan la letra “P” al inicio son las más relevantes para rediseñar y adaptar el sistema a una máquina cortadora similar.

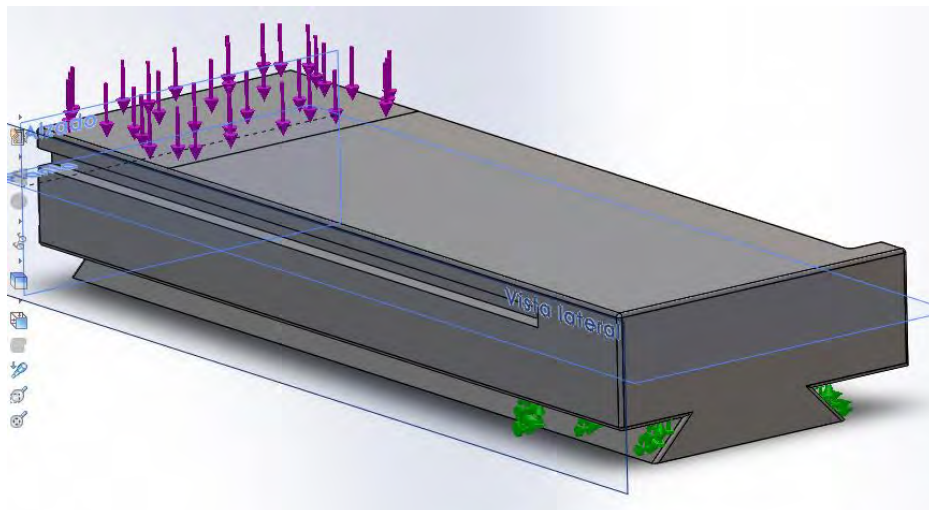
**17.6.2 Análisis estructural del mecanismo.** Para hacer el análisis estructural de mecanismo, se realiza un FEA (finite elements analysis) o análisis de elementos finitos en el software SolidWorks®, con el objetivo de determinar los efectos de las fuerzas y momentos generados por las cargas y el actuador a los que se somete la estructura.

En este orden de ideas, lo primero que se hizo fue el análisis de solamente el brazo más pequeño de la estructura del mecanismo cuyo plano se puede encontrar en el Anexo H. Para esto, se aplicó una fuerza de 372N (véase flechas morada en la Figura 47), que es la necesaria para que el operario expulse la bobina más grande de la máquina cortadora teóricamente, y además se agregaron dos superficies de empotramiento que representan el área de contacto que tiene esta pieza con la guía que la sostiene (véase flechas verdes en la Figura 47). Los planos la pieza guía se pueden ver en el Anexo N.

**Figura 46. Visualización del brazo en la guía (pieza resaltada en rojo)**

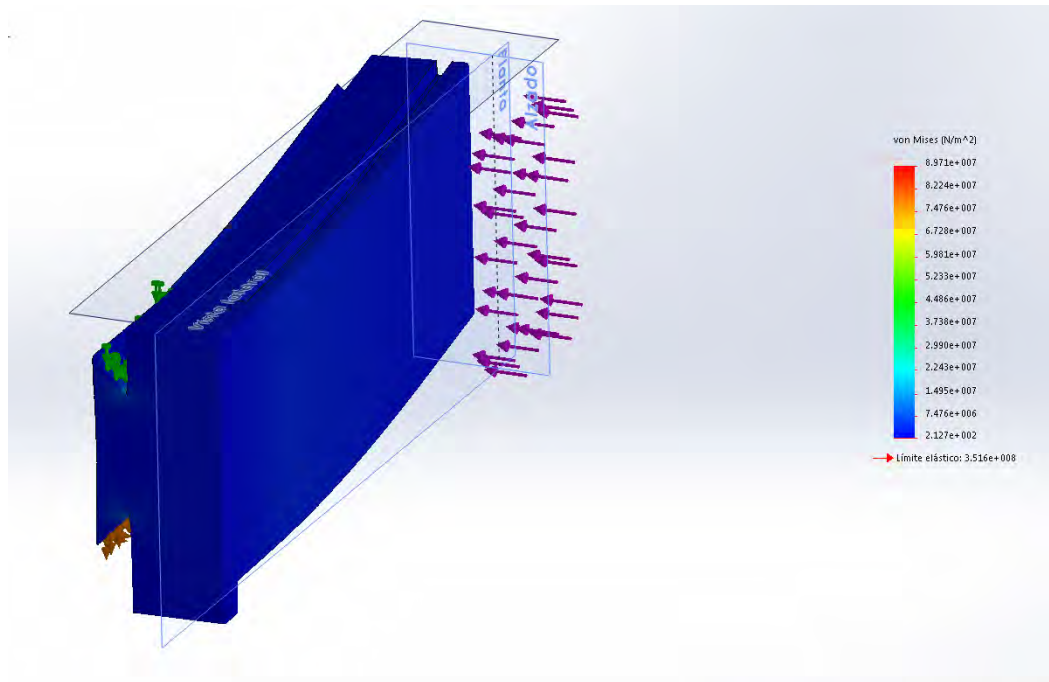


**Figura 47. Dirección de fuerza (morado) y área de empotramiento (verde)**

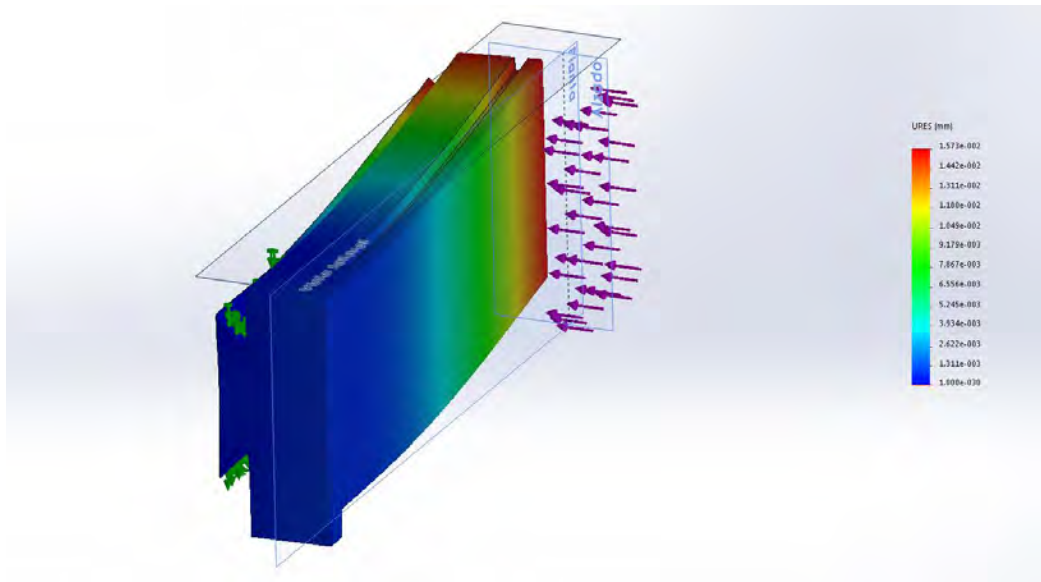


Posteriormente se crea una malla que oscila entre 2-0.5mm debido a que la capacidad de procesamiento del PC no responde bien con una malla más pequeña. La malla definida se obtuvo como resultado la Figura 48 y Figura 49.

**Figura 48. Resultados de esfuerzo de Von Mises**



**Figura 49. Resultados del desplazamiento de la pieza**



**Nota:** es importante aclarar que el software SolidWorks® muestra animaciones exageradas, pero si se puede interpretar la Figura 49, el máximo desplazamiento de la pieza es de 0.016mm aproximadamente.

De la interpretación del esfuerzo de Von Mises que se puede observar en la Figura 48 se determina que el máximo esfuerzo de la pieza es de  $8.971 \times 10^7 \text{ Pa}$  aproximadamente el cual se encuentra en la superficie de contacto en la que esta empotrada.

A continuación procedemos a calcular el factor de seguridad  $F_s$  para la pieza de la estructura.

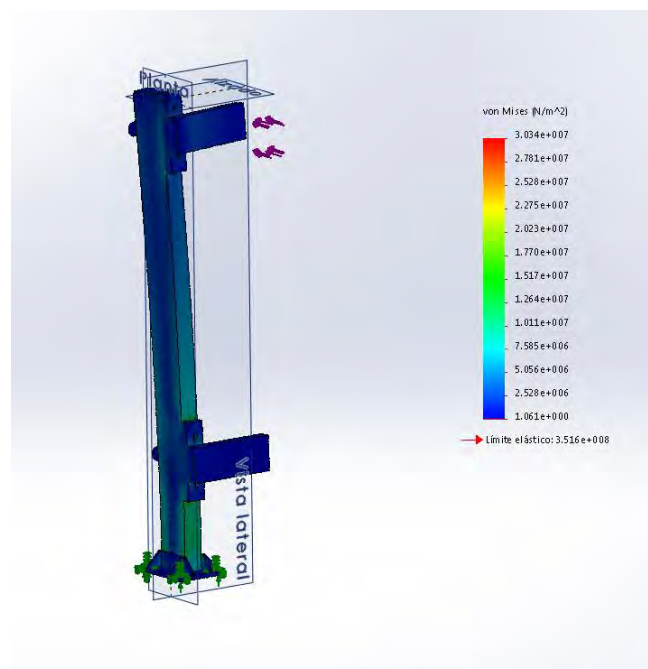
**Ecuación 7.** 
$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{aplicado}}$$

Donde  $S_y$  es el esfuerzo de fluencia de la ficha técnica del fabricante, 205 MPa y  $\sigma_{aplicado}$  es el esfuerzo aplicado resultante del Von Mises de la simulación, 89.71 MPa.

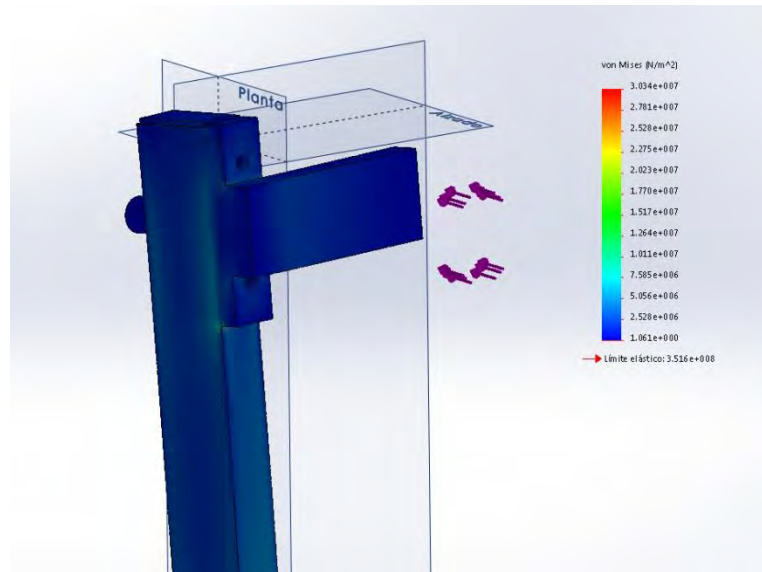
Según la ecuación  $F_s=2,28$ , se acuerdo al criterio de diseño, para que la pieza no falle  $F_s$  debe ser por mínimo mayor a 2 aproximadamente, por tanto se puede concluir que la pieza no falla, valga la redundancia.

Para tener una visión más amplia de los hechos se realiza un estudio de la estructura como se muestra en las Figuras 50, 51 y 52.

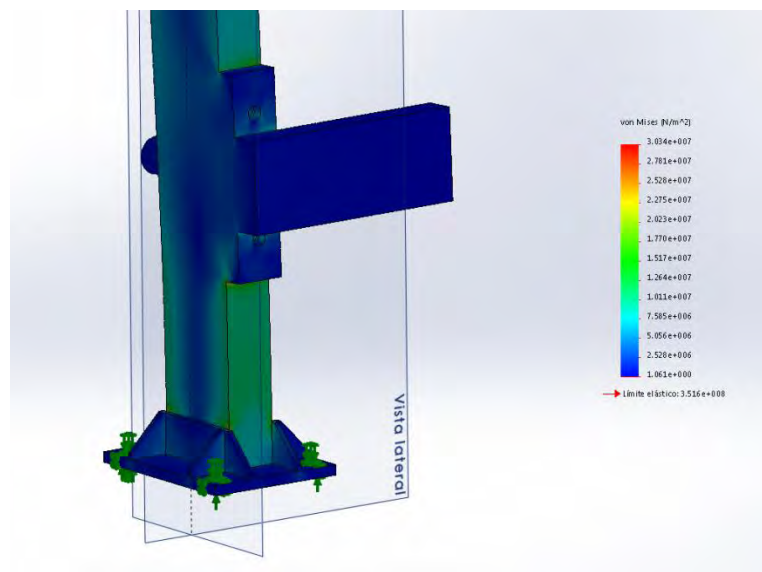
**Figura 50. Estudio de esfuerzos Von Mises de la estructura**



**Figura 51. Estudio de esfuerzos Von Mises de la estructura, parte superior**



**Figura 52. Estudio de esfuerzos Von Mises de la estructura, parte inferior**



Según los resultados de simulación  $\sigma_{aplicado} = 3.03e+7$  Pa, por tanto, el  $F_s = 6.77$ , por ende se puede concluir que la estructura completa no falla.

**Nota:** La estructura completa es un ensamble de muchas piezas, pero los software's Ansys© y SolidWorks© con licencia en la universidad Autonoma de Occidente, presentan muchas dificultades para realizar un estudio ensamblado. Por esta razón el estudio se realiza a la estructura como si fuera una sola pieza y debido a esto se da un factor de seguridad mayor que el del Brazo solo.

## 17.7 DISEÑO DE RESORTE DE RETENEDOR

Para las dimensiones del resorte del retenedor o seguro del brazo, fueron necesarios los siguientes requerimientos:

Desplazamiento que realiza el seguro

Coeficiente de fricción entre los materiales

Fuerza de fricción del perlín sobre el eje que los atraviesa (véase Figura 53)

El desplazamiento que realiza el seguro es de 10mm y se asume que el coeficiente de fricción estático entre materiales es de 0.6. Además de estos datos tenemos:

Con la ayuda del software SolidWorks© se determinó que el peso del retenedor que se muestra en la Figura 53 es de 0.33kg aproximadamente.

La gravedad en Santiago de Cali es de  $9,77 \text{ m/s}^2$  aproximadamente.

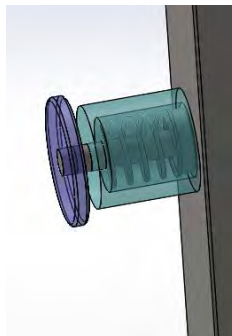
Teniendo estos datos se determina el peso en fuerza de la pieza para hallar la fricción como se muestra a continuación:

$$W_g \cong m_{\text{retenedor}} * g_{\text{cali}} \cong 3,3\text{N}$$

$$F_w \cong W_g * u_s \cong 2$$

Si tenemos que  $F_k = K * \Delta x$  y  $F_w = F_k$ ; el coeficiente de elasticidad del resorte es de  $K \cong 200 \text{ Kg/s}^2$ .

**Figura 53. Resorte del retenedor o seguro**





## 17.8 DISEÑO DE LA RED NEUMÁTICA

Para el cilindro de doble efecto que se va utilizar, es necesario el realizar el cálculo del consumo de aire, estos con el fin de determinar el diámetro que debe tener la manguera y la electroválvula, componentes importantes para el funcionamiento de la máquina.

**17.8.1 Cálculo del consumo de aire del cilindro de doble efecto.** Para obtener el consumo de aire para el cilindro son necesarios los siguientes datos:

$\varnothing$ =Diámetro del embolo = 40 mm

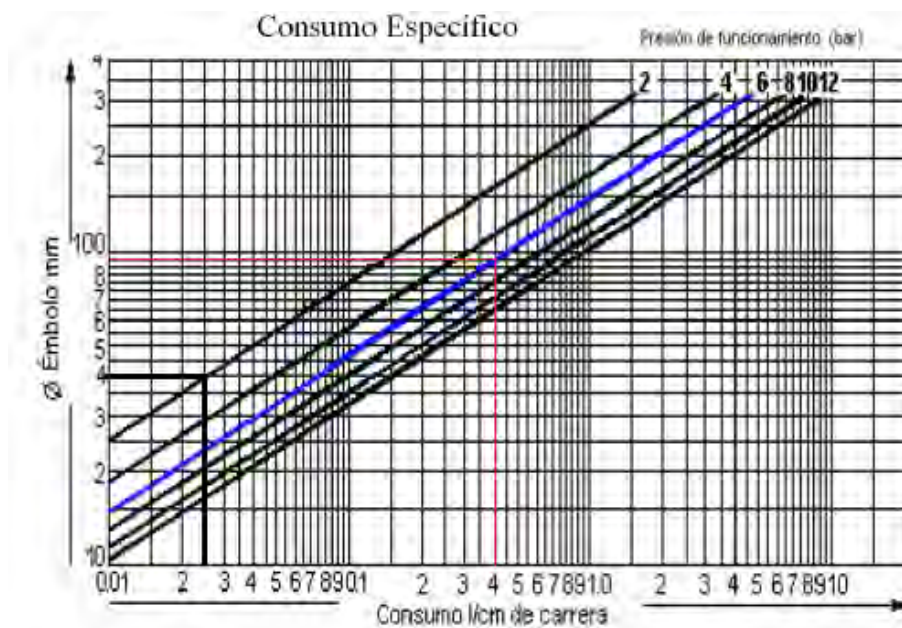
S=Carrera=218 cm

P=Presión de trabajo = 6 bar

N=Ciclos por minutos=1

Por medio de la gráfica de consumo específico que se muestra en la Figura 40 se encontró, que el consumo de carrera del cilindro, tiene un valor aproximado de 4(l/cm) como se muestra a continuación.

**Figura 54. Gráfica consumo específico**



**Fuente:** Micro, distribuidor de equipos neumáticos



Ahora teniendo el consumo específico, se puede aplicar la ecuación que permite hallar el caudal necesario para el cilindro como se observa a continuación.

**Ecuación 8.**  $Q = 2(q * n * s)$

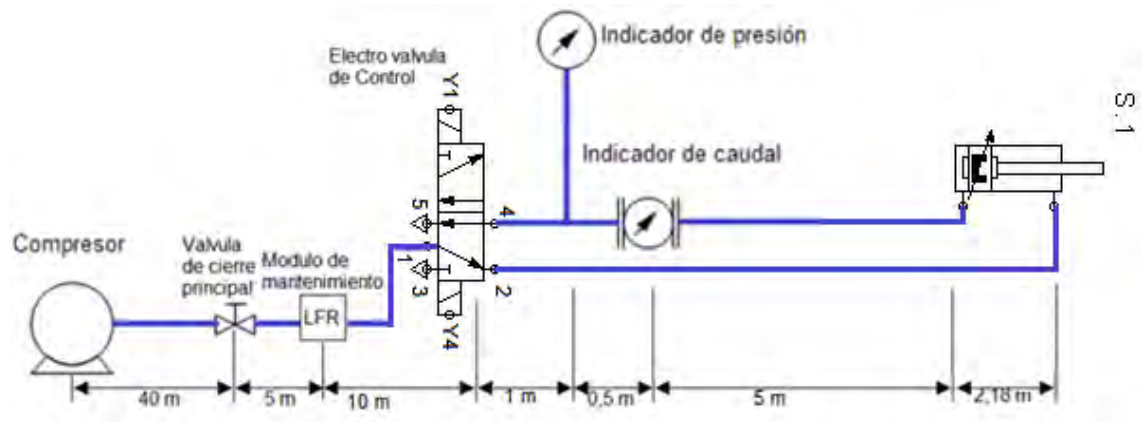
$$Q = 2((4(L/cm)) * 1(min) * (218(cm)))$$

$$Q = 872 \frac{L}{min} \frac{1m^3}{1000L} * \frac{60min}{1h}$$

Donde Q es igual 52,32 m<sup>3</sup>/h

Una vez se obtiene el consumo total del cilindro, se calcula el diámetro de la manguera que se debe usar. Para ellos es necesario conocer la longitud total de la red incluyendo todos los componentes neumáticos del sistema. Por ende se desarrolla el siguiente plano.

**Figura 55. Plano red neumático**

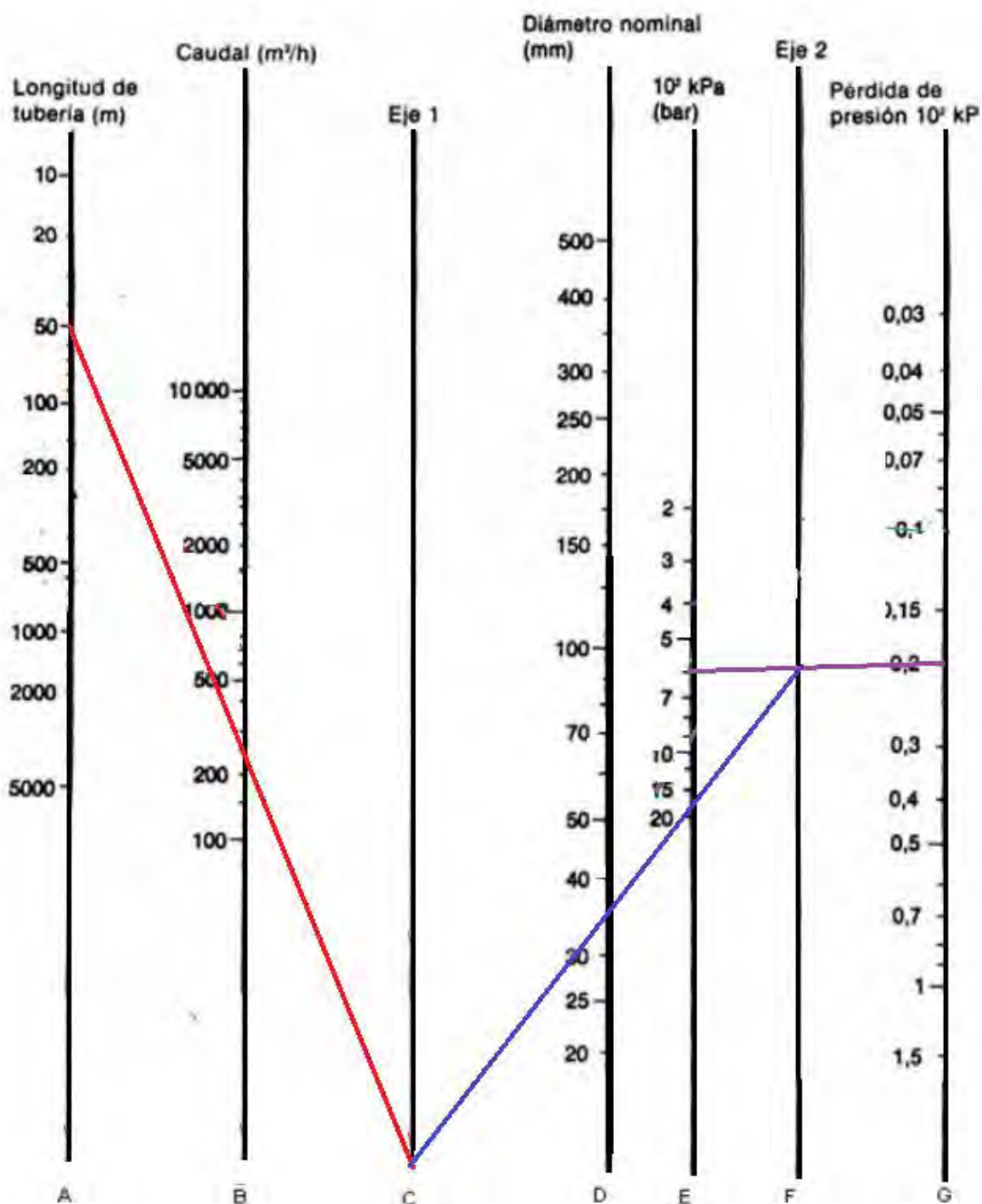


Como se puede observar en la Figura 55 existe una distancia de 45 m entre el compresor y el módulo de mantenimiento, distancia que no será tomada en cuenta para los cálculos ya que es una longitud establecida por la empresa, debido a que el compresor no solo alimentará la máquina si no que toda la red neumática que posee la empresa.

La longitud de la manguera desde el módulo de mantenimiento hasta el cilindro de doble efecto es de aproximadamente 18,68 metros. En la teoría se toma cada electroválvula como una distancia aproximada de 32 metros de recorrido

de longitud, lo que sumando con la distancia anterior da un resultado de 50.68 metros de largo que debe tener la manguera. A partir de esto se utiliza la gráfica siguiente para encontrar el diámetro de la manguera. Debido a que el valor del caudal es bajo como se muestra en el resultado de la **Ecuación 8**, se toma un valor de aproximadamente  $250 \text{ m}^3/\text{h}$  para realizar la medición.

**Figura 56. Gráfica para el cálculo del diámetro nominal**

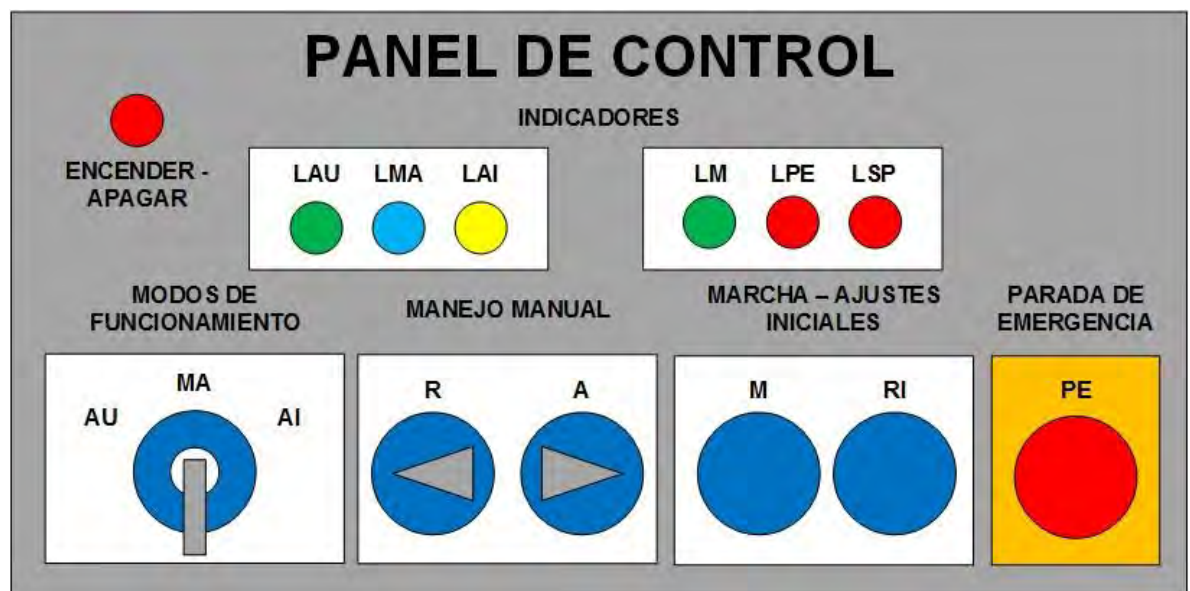


Como se puede observar en la figura 42 se trazó primero una línea roja que cruza al eje 1 basada en los datos de longitud de tubería y caudal, después se traza una segunda línea que atraviesa el eje 2 basado en los datos presión y pérdida de presión, por último se traza una línea desde la intersección del eje 1 al intersección del eje 2 que cruza la línea del eje nominal como se puede observar por lo tanto el diámetro de la manguera es aproximadamente: 35 mm.

## 17.9 DISEÑO DEL CONTROLADOR

**17.9.1 Diseño propuesto para el panel de control del sistema expulsor de bobinas.** Para el manejo del sistema expulsor de bobinas se propuso el siguiente panel de control:

**Figura 57. Panel de control**



**Nota:** para uso del panel de control consultar el manual de funcionamiento en el ANEXO V.

Haciendo uso de la guía de automatización GEMMA, se elaboró una representación normalizada de las tareas que realiza el controlador del sistema llamado GRAFCET como se ve en la Figura 57. Donde se requirió en primera instancia el estudio del funcionamiento deseado al igual que sus variables y condiciones. Antes de explicar el funcionamiento diseñado es necesario conocer las variables que intervienen en el proceso.

**Cuadro 20. Lista de elementos**

| <b>Tipo de Elemento</b>       | <b>Entrada</b> | <b>Salida</b> | <b>Comentario</b>   |
|-------------------------------|----------------|---------------|---|
| Indicador                     | -              | LPE           | Indica que el sistema se encuentra en parada de emergencia.   |
| Indicador                     | -              | LM            | Indica que el sistema se encuentra en funcionamiento.   |
| Indicador                     | -              | LAI           | Indica que el sistema esta es modo de ajustes iniciales.  |
| Indicador                     | -              | LSP           | Indica que el sistema se detuvo por el indicador de presencia.  |
| Indicador                     | -              | LAU           | Indica que el sistema se encuentra en modo de funcionamiento automático.  |
| Indicador                     | -              | LMA           | Indica que el sistema se encuentra en modo de funcionamiento manual.  |
| Salida del PLC                | -              | AD            | Indica al sistema que debe avanzar.   |
| Salida del PLC                | -              | AT            | Indica al sistema que debe retroceder.  |
| Pulsador                      | A              | -             | Indica al sistema que debe avanzar estando en modo de funcionamiento manual.  |
| Pulsador                      | R              | -             | Indica al sistema que debe retroceder estando en modo de funcionamiento manual.   |
| Pulsador                      | M              | -             | Indica al sistema que debe ponerse en marcha estando en modo de funcionamiento automático.  |
| Pulsador                      | RI             | -             | Indica al sistema que debe hacer un reajuste para llevarlo a condiciones iniciales.   |
| Interruptor                   | PE             | -             | Indica al sistema que debe detenerse.   |
| Conmutador de tres posiciones | AU<br>MA<br>AI | -             | Indica funcionamiento en modo automático.<br>Indica funcionamiento en modo manual.<br>Indica funcionamiento para condiciones iniciales. |
| Sensor                        | SP             | -             | Indica la presencia de un individuo en zona riesgosa.   |
| Final de carrera              | FC1            | -             | Final de carrera del pistón del sistema.  |
| Final de carrera              | FC2            | -             | Final de carrera del pistón del sistema.  |
| Final de carrera              | AM             | -             | Indica al sistema que está en posición el ayudante mecánico.  |

Después de definir las variables anteriores, se elaboraron cuatro GRAFCET para controlar el sistema expulsor a partir de las mismas y las condiciones de funcionamiento que se muestran a continuación:

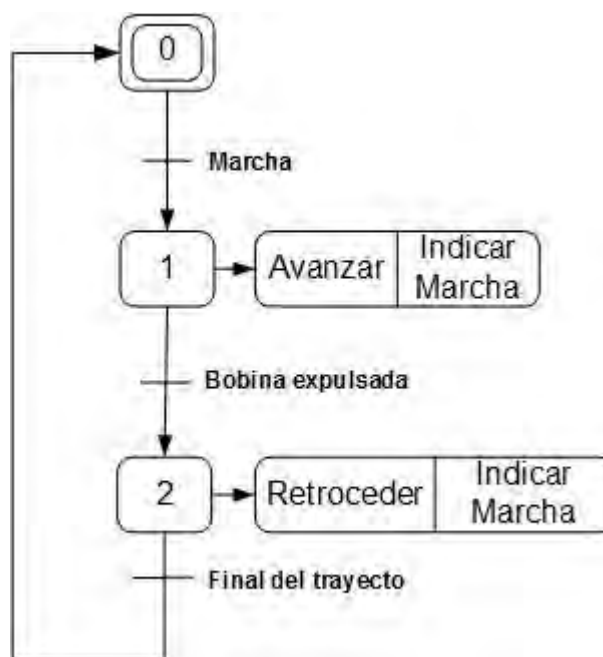
El sistema es seguro y permite la detención del mismo si ocurre algún problema o alguna persona se acerca mucho a él durante su funcionamiento.

El sistema puede ser manejado de forma manual o automática.

El sistema es capaz de posicionarse en condiciones iniciales automáticamente.

**17.9.2 GRAFCET de primer nivel de puesta en marcha para funcionamiento automático.** El GRAFCET de primer nivel se usa para indicar de forma sencilla el funcionamiento básico del sistema y sirve como guía para identificar las condiciones que se deben tener en cuenta durante el desarrollo del diseño.

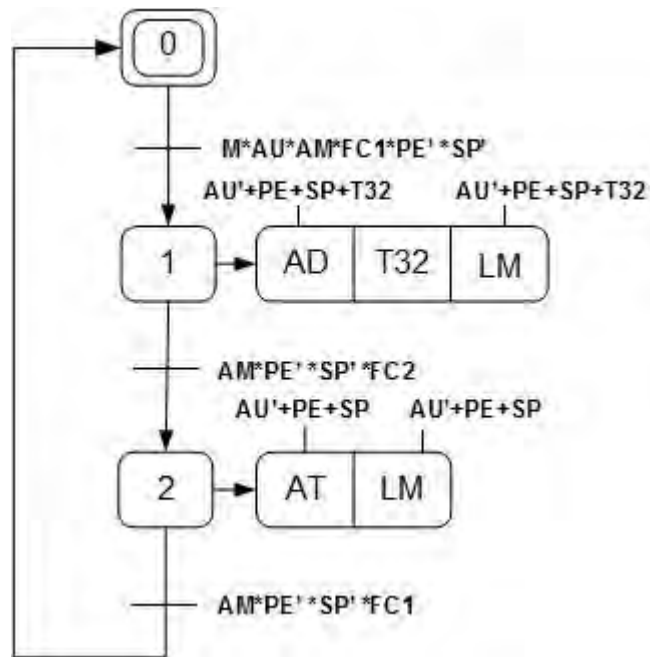
**Figura 58. GRAFCET de primer nivel**



**17.9.3 GRAFCET de segundo nivel de puesta en marcha para funcionamiento automático.** En la Figura 45 se muestra el GRAFCET propuesto para el manejo del sistema expulsor de bobinas de forma automática:

Fue necesario diseñar un modo de funcionamiento donde el operario de forma automática pudiera dar cumplimiento a la tarea de expulsión con el fin de independizarse un poco de dicho procedimiento evitando riesgos ergonómicos y pérdida en tiempos de producción a causa de accidentes y/o cansancio.

**Figura 59. GRAFCET de segundo nivel**



**17.9.3.1 Etapa 1, Expulsión.** Es ésta etapa el sistema cumple la función de expulsar las bobinas (AD), indicando que está en marcha por medio del panel de control, inicia un Timer (T32) de 32 segundos que me indicará si hay problemas de atascamiento. Para que éste estado ocurra se deben cumplir las siguientes 6 condiciones:

M (On)

AU (On)

AM (On)

FC1 (On)

PE (Off)

SP (Off)

**17.9.3.2 Etapa 2, Home.** En ésta etapa se indica el retroceso y que el sistema está en marcha en el panel de control, para que esto suceda se debe cumplir con las siguientes condiciones:

AM (On)

PE (Off)

SP (Off)

FC2 (On)

T32 (On)

Si el sistema se encuentra en marcha hay tres condiciones para que se active la parada de emergencia:

Si el tiempo de expulsión (T32) ha transcurrido y no se detecta la extracción total de las bobinas.

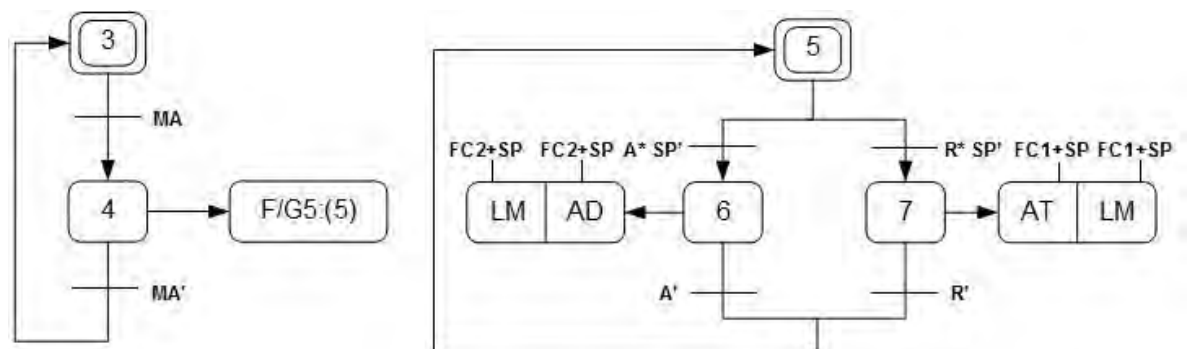
En el caso de que el ayudante mecánico no se encuentre en la posición adecuada para recibir las bobinas.

La presencia de un operario a menos de 2 metros del sistema de expulsión.

**17.9.4 GRAFCET de segundo nivel de puesta en marcha para funcionamiento manual.** A continuación se muestra el GRAFCET propuesto para el manejo del sistema expulsor de bobinas de forma manual:

El diseño de un modo de funcionamiento manual fue necesario para facilitar al operario o al personal de mantenimiento la puesta a prueba del sistema o el cumplimiento de una tarea en específico, ya sea para mantenimiento preventivo, detección de fallas o simplemente movilización manual del sistema.

**Figura 60. Puesta en marcha**



El GRAFCET da inicio en la etapa 3 a la espera de que el operario active el conmutador a la posición de funcionamiento manual (MA). Habiendo cumplido dicha condición se activa la etapa 4 del proceso donde se fuerza el GRAFCET 5 a ejecutarse en la etapa 5 que corresponde al funcionamiento manual. Para salir de la etapa 4 solo es necesario que el conmutador de modos de

funcionamiento se mueva a otra posición, desactivándose así el modo de funcionamiento manual y retornando a la etapa 3 a la espera de una nueva orden por parte del operario.

En la etapa 5 existe la posibilidad de mover el sistema en dos direcciones diferentes con los pulsadores (A) y (R), el primero indica que se desea avanzar y el segundo indica que se desea retroceder. Si se desea avanzar, se debe activar la etapa 6 del proceso cumpliendo con las condiciones de que el pulsador de avance (A) se encuentre activo y que el sensor de presencia (SP) no se encuentre activo. Habiendo cumplido lo anterior se activa entonces la salida digital (AD) encargada de indicar la avanzada del sistema y se activa el indicador de marcha (LM). Nótese que en éste caso no se cuestiona la posibilidad de que el sistema esté en parada de emergencia (PE) ya que el sistema en modo de funcionamiento manual se encuentra en reposo por defecto y si se desea detener el sistema solo es necesario dejar de presionar el pulsador de avance (A) para así mismo retornar a la etapa 5.

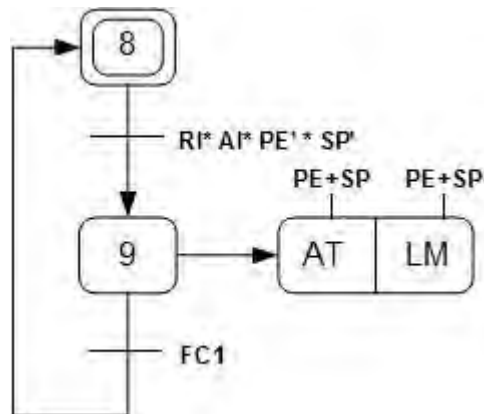
Si se desea retroceder es necesario cumplir con las condiciones de que el pulsador de retroceso (R) se encuentre activo y que el sensor de presencia (SP) se encuentre inactivo. Estando entonces en la etapa 7, se activa la salida digital (AT) encargada de indicar el retroceso del sistema y se activa también el indicador de marcha (LM); para retornar a la etapa 5 tan solo es necesario dejar de presionar el pulsador de retroceso (R). Cabe aclarar que las acciones realizadas en las etapas 6 y 7 cumplen con todas las condiciones de seguridad necesarias para el óptimo funcionamiento del sistema.

**17.9.5 GRAFCET de segundo nivel de puesta en marcha para condiciones iniciales.** A continuación se muestra el GRAFCET propuesto para el manejo del sistema expulsor de bobinas para condiciones iniciales:

Para la ejecución de la tarea de la expulsión de bobinas es necesario que el sistema sea capaz de posicionarse en el estado de condiciones iniciales después de haber ocurrido alguna falla eléctrica dentro de la planta o alguna otra clase de falla que tuviese lugar en el proceso.



**Figura 61. Condiciones iniciales**

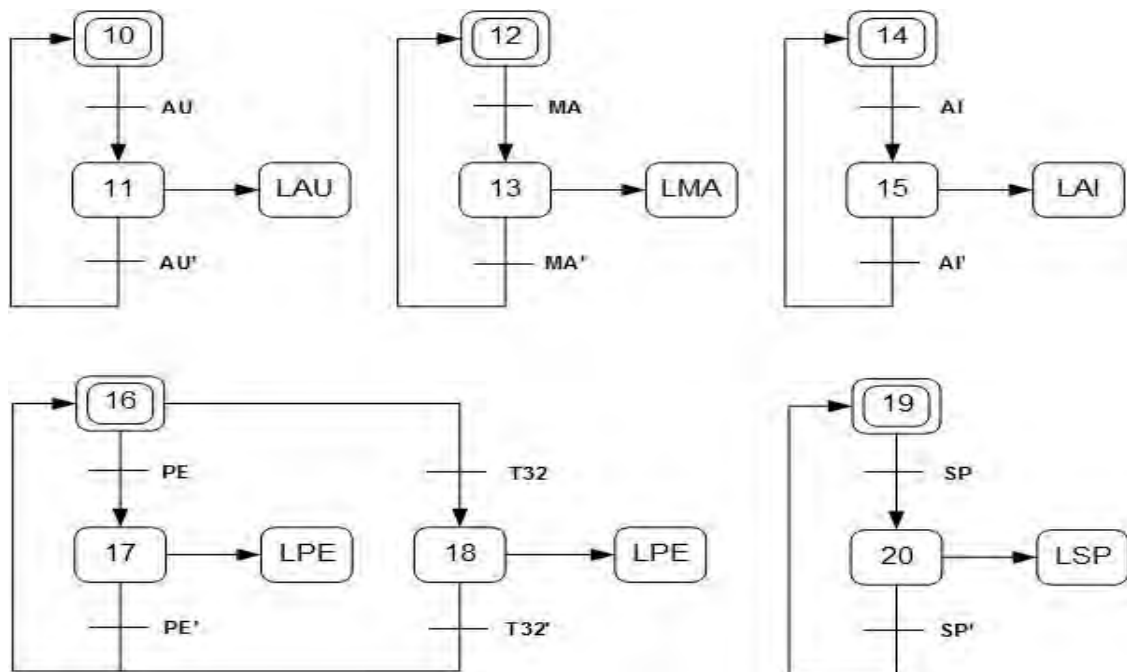


El GRAFCET inicia en la etapa 8 que se encuentra a la espera de que el operario posicione el conmutador de modos de funcionamiento en la posición de ajustes iniciales (AI) y oprima el pulsador de rearme inicial (RI) que acompañados del cumplimiento de las condiciones de seguridad (PE) y (SP) dan paso a la activación de la etapa 9 donde se inician las funciones que dan lugar a la activación de la salida digital de retroceso (AT) y el indicador de marcha (LM) que son desactivados en el momento en el que sistema expulsor llega a la posición donde se activa el final de carrera 1 (FC1). Habiendo llegado a la posición deseada el proceso procede a desactivar la etapa 9 y da lugar nuevamente a la activación de la etapa 8. Hay que tener en cuenta que al igual que lo descrito en los modos de funcionamiento anteriores, la etapa 9 cuenta con las condiciones de seguridad requeridas para el sistema.

**17.9.6 GRAFCET de segundo nivel para indicadores de funcionamiento y advertencias.** A continuación se muestra el GRAFCET propuesto para el manejo del sistema expulsor de bobinas para indicadores de funcionamiento y advertencias:

El GRAFCET para indicadores de funcionamiento y advertencias se diseñó con el objetivo de facilitar al operario de forma visual el estado de funcionamiento del sistema al igual que la rápida y fácil identificación de las advertencias y las fallas posibles.

**Figura 62. Indicadores y advertencias**

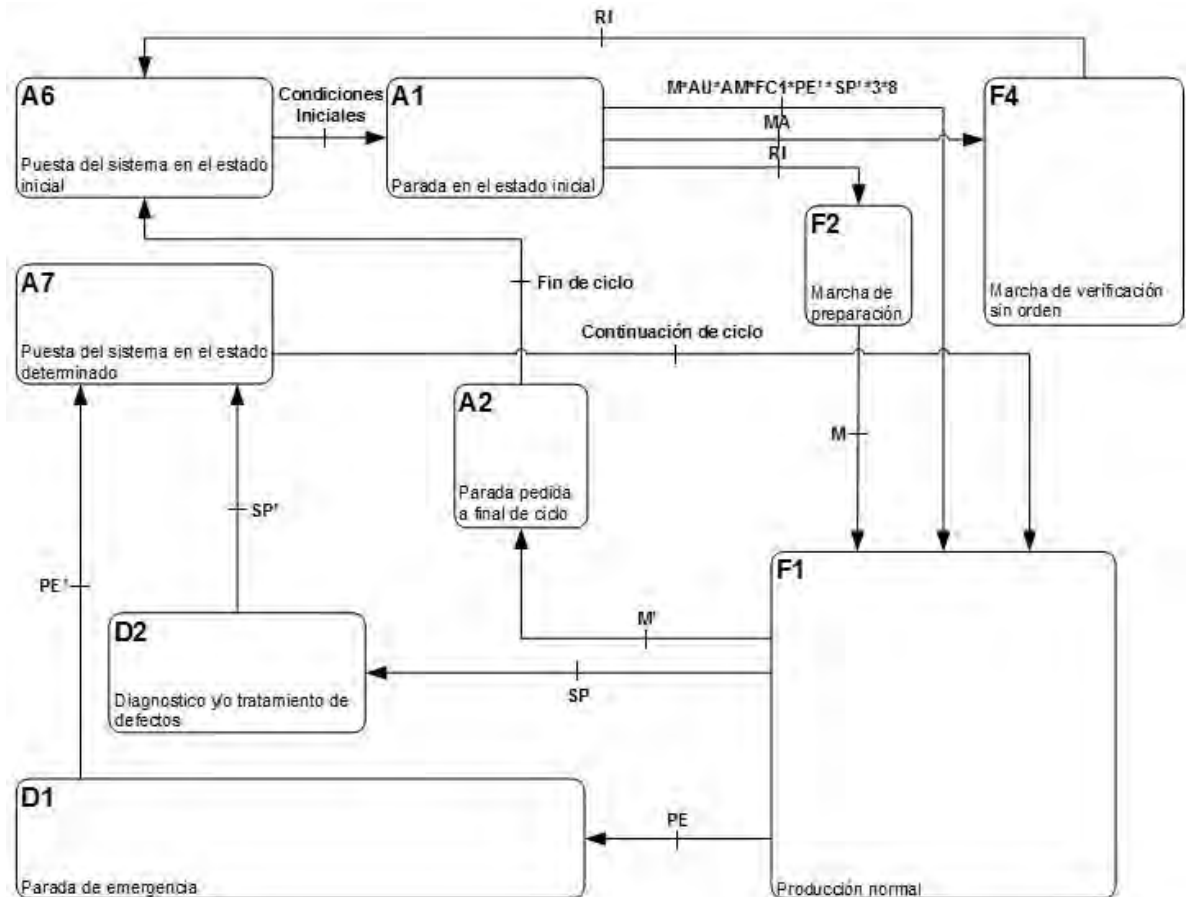


Las etapas 10, 12 y 14 inician a la espera de que el operario posicione el conmutador de modos de funcionamiento en las posiciones (AU, MA y AI) para dar lugar a la activación de las etapas 11, 13 y 15 respectivamente. En la etapa 11 se activa el indicador de funcionamiento en modo automático (LAU) la cual es desactivada con el cambio de posición del conmutador de dicha condición para retornar a la etapa 11. La etapa 13 activa el indicador de modo de funcionamiento manual (LMA) y es desactivada por el cambio de posición del conmutador para dar paso a la activación de la etapa 12. La etapa 15 activa el indicador de modo de funcionamiento para llevar el sistema a condiciones iniciales (LAI) y es desactivado por el conmutador de modos de funcionamiento para posteriormente activar la etapa 14. Nótese que las etapas 11, 13 y 15 solo pueden estar activas una por vez debido a que dependen del mismo medio de activación que por sus características físicas de funcionamiento permiten solo una posición.

Las etapas 16 y 19 corresponden a las alertas previstas para el operario donde por medio del interruptor de parada de emergencia (PE), el temporizador (T32) y el sensor de presencia (SP) activan las etapas 17, 18 y 20 respectivamente que son desactivadas con ausencia de señal del interruptor de parada de emergencia, desactivación del temporizador y la desactivación del sensor de presencia para retornar a sus etapas iniciales 16 y 19.

**17.9.7 Estados del GEMMA.** Los estados del GEMMA propuestos para la descripción y el entendimiento del controlador propuesto se muestran a continuación:

**Figura 63. Protocolo GEMMA**



#### 17.9.7.1 Procedimientos de funcionamiento:

**F1. Producción normal:** Es el estado más importante porque es donde el sistema funciona normalmente y cumple con la tarea para la cual fue diseñado.

**F2. Marcha de preparación:** Es el estado donde el sistema se prepara para entrar en funcionamiento, es decir, ponerse en condiciones iniciales.

**F4. Marcha de verificación sin orden:** Consiste en el estado de funcionamiento manual que es comúnmente utilizado para funciones de mantenimiento y verificación.

#### **17.9.7.2 Procedimientos de parada y puesta en marcha:**

**A1. Parada en el estado inicial:** Corresponde al estado donde el sistema se encuentra normalmente en reposo.

**A2. Parada al final de ciclo:** Es un estado transitorio donde el sistema que se encontraba en funcionamiento recorre un solo ciclo de funcionamiento y regresa al estado inicial a la espera de una nueva orden.

**A6. Puesta del sistema en el estado inicial:** Es el estado donde el sistema retorna a las condiciones iniciales. El retorno puede hacerse de forma manual o automática.

**A7. Puesta del sistema en el estado determinado:** Se retorna el sistema a una posición distinta de la inicial. El retorno puede ser de forma manual o automática.

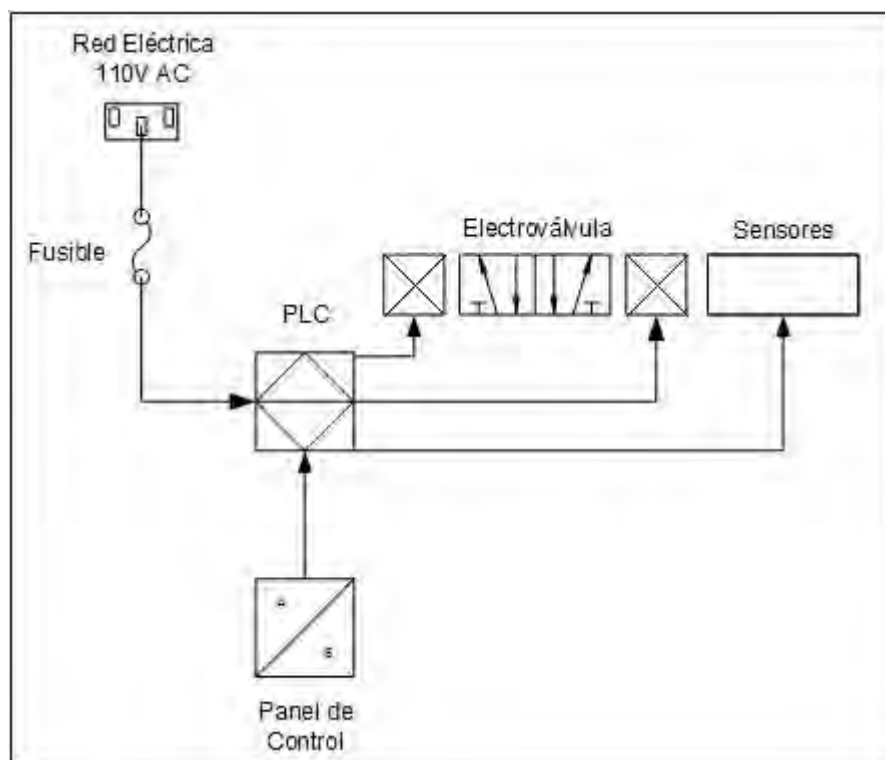
#### **Procedimientos de defecto:**

**D1. Parada de emergencia:** Es el estado que se activa después de una parada de emergencia, donde deben tenerse en cuenta los procedimientos y precauciones necesarias para evitar dificultades o consecuencias debidas a los defectos.

**D2. Diagnóstico y/o tratamiento de defectos:** Es el estado donde el sistema puede ser examinado con o sin ayuda del operario para el diagnóstico e identificación del fallo.

### 17.9.8 Diagrama básico de interacción entre componentes eléctricos y electrónicos.

Figura 64. Esquema de funcionamiento eléctrico



## 18 ANALISIS COSTO-BENEFICIO

**Cuadro 21. Evaluación del proyecto del mes 1 al 15**

| MES                                      | 1               | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          | 11          | 12          | 13          | 14          | 15          |
|--|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>INGRESOS(+)</b>                       |                 |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Prestaciones económicas del empleador(+) | \$410.667       |             |             |             |             |             | \$410.667   |             |             |             |             |             | \$410.667   |             |             |
| Operario Contratista                     | \$1.000.000     | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 |
| <b>EGRESOS(-)</b>                        |                 |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| inversión                                | \$15.207.605    |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Salario del operario                     | \$616.000       | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   |
| Ciclo de mantenimiento                   |                 |             |             |             |             | \$25.000    |             |             |             |             |             | 25000       |             |             |             |
| Flujo                                    | -\$14.412.938   | \$384.000   | \$384.000   | \$384.000   | \$384.000   | \$359.000   | \$794.667   | \$384.000   | \$384.000   | \$384.000   | \$384.000   | \$359.000   | \$794.667   | \$384.000   | \$384.000   |
| tasa de oportunidad                      | 6%              |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| VPN                                      | -\$7.206.984,76 |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| PRI                                      | 34              |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |

**Cuadro 22. Evaluación del proyecto del mes 16 al 34**

| 16          | 17          | 18          | 19          | 20          | 21          | 22          | 23          | 24          | 25          | 26          | 27          | 28          | 29          | 30          | 31          | 32          | 33          | 34          |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|             |             |             | \$410.667   |             |             |             |             |             | \$410.667   |             |             |             |             |             | \$410.667   |             |             |             |
| \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 | \$1.000.000 |
|             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   | \$616.000   |
|             |             | 25000       |             |             |             |             |             | 25000       |             |             |             |             |             | 25000       |             |             |             |             |
| \$384.000   | \$384.000   | \$359.000   | \$794.667   | \$384.000   | \$384.000   | \$384.000   | \$384.000   | \$359.000   | \$794.667   | \$384.000   | \$384.000   | \$384.000   | \$384.000   | \$359.000   | \$794.667   | \$384.000   | \$384.000   | \$384.000   |

Como se ve en los Cuadros 22 y 23 se realizó un análisis de viabilidad con las condiciones de ley de dos enfermos laborales cada año, el cual se definió como inviable debido a la falta información sobre producción vs tiempo que no fue proveída por la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S,

El análisis de producción vs tiempo representa un 37,5% aproximado de la eficiencia de producción de los operarios. También se debe tener en cuenta que el proyecto está direccionado a ergonomía, debido a la mejora de los factores de seguridad industrial que se quieren prestar en la empresa para con sus empleados, por lo cual el proyecto no puede ser estrictamente viable.

## 19 CONCLUSIONES

Basado en la problemática de la expulsión de bobinas se logró determinar mediante la identificación de las necesidades, las especificaciones que se debían tener en cuenta para desarrollar el mecanismo más adecuado para la máquina cortadora TITAN. Aplicando las metodologías de diseño se logró identificar y posteriormente enfatizar en los requerimientos que finalmente definirían la orientación del sistema.

Fue necesaria la generación y aplicación de conceptos mecánicos, eléctricos y electrónicos para dar solución a la problemática planteada debido a que algunos de los requerimientos planteaban la necesidad de que el sistema diseñado contara con cierto nivel de autonomía con el fin de brindar seguridad y liberar al operario de tareas pesadas e incómodas.

Gracias a la prueba de conceptos se logró seleccionar el mejor a aplicar en el diseño final. El concepto elegido fue la guía necesaria para encaminar los componentes necesarios para la arquitectura del sistema que dió como resultado la modularidad del mismo.

Mediante la herramienta de diseño SolidWorks® se simuló y se realizó el respectivo estudio estructural del mecanismo propuesto teniendo en cuenta las dimensiones y las fuerzas que el sistema debería soportar, obteniendo como resultado la validación de que el sistema cumple con todos los requerimientos establecidos.

Se elaboraron planos estructurales y un manual de funcionamiento y mantenimiento para ayudar a los operarios del área y personal de mantenimiento.

Por medio del método de diseño de ingeniería concurrente se logró diseñar un sistema de expulsión de bobinas para la máquina TITAN de la empresa EMPAQUES FLEXA S.A.S.



## BIBLIOGRAFÍA

ALCAÑIZ, Maria de los Ángeles Miguel. Modelado y análisis por elementos finitos de un eje ferroviario hueco usando Pro-Engineer: Resumen. Trabajo de grado [para obtener el título de ingeniera industrial] Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2011, pág. 9.

Alcaldía de Bogotá. Normas – RESOLUCIÓN 2674 DEL 2013 [en línea]. [Consultado el: 5 de Agosto del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=54030>>

ASENSIO, y otros, 2005 ASENSIO, Pere Ponsa y ARBÓS, Tamon VilanovaVILANOVA. Automatización de procesos mediante la guía GEMMA. s.l. : UPC, 2005, págs. 11-40.

ELEMPAQUE. 2013. Rebobinadora-cortadora TITAN SDR-DT. [En línea] ELEMPAQUE, diciembre de 2013. [Consultado el: 17 de Febrero de 2014.] <http://www.elempaque.com/temas/Rebobinadora-cortadora-Titan-SR9-DT-aumenta-la-produccion-en-Gilbreth-Packaging+95599>.

EQUIPMENT, Universal Converting. 2014. Slitter Machine-Universal Converting Equipment. [En línea] Universal Control Equipment Limited, 2014. [Consultado el: 18 de Febrero de 2014.] <http://www.universalconvertingequipment.com/slitter-rewinder-machines>.

GROUP, Comexi. COMEXI PROSLIT. [En línea] COMEXI GROUP., 2012. [Consultado el: 18 de Febrero de 2014.] Disponible en internet: <<http://www.comexigroup.com/cortadoras-rebobinadoras/cortadora-eikon.php>>.

MENDEZ, Everardo Jorge Borojas. Análisis estructural y diseño preliminar opto-mecánico del instrumento RATIR: Mecanica de solidos. Trabajo de grado [para obtener el título de ingeniero mecatrónico]. México D.F. : Universidad Nacional Autónoma de México, 2010, pág. 25.

MINTRABAJO, República de Colombia. Preguntas frecuentes. [En línea] 2014. [Consultado el: 10 de 03 de 2014.] Disponible en internet: <<http://www.mintrabajo.gov.co/preguntas-frecuentes/incapacidad.html>>.

MONDÉGAR, José A. Rodríguez. Guía GEMMA. [En línea] [Consultado el: 10 de 03 de 2014.] Disponible en internet: <[http://www.dea.icaei.upco.es/jarm/Asignaturas/AutomatizacionIndustrial\\_3itiei/tranparencias/7gemma.pdf](http://www.dea.icaei.upco.es/jarm/Asignaturas/AutomatizacionIndustrial_3itiei/tranparencias/7gemma.pdf)>.

PRODOTTI, Temac. TAGLIERINE RIBOBINATRICI. [En línea] TEMAC. PRODOTTI . [Consultado el: 18 de Febrero de 2014.] Disponible en internet: <<http://www.temac.it/it/prodotti-taglierine-ribobinatrici-ribobinatura-avvolgimento.php>> .

SAMPIERI, Hernandez, y otros. Capitulo 5: Formulación de hipótesis. México : Mc Graw Hill, 1997.

TITAN., ATLAS. Soluciones. [En línea] ATLAS TITAN. [Consultado el: 17 de Febrero de 2014.] <http://www.atlasconverting.com/solutions>.

TORRES, César. Tema: Legislación en seguridad y salud ocupacional en Colombia. Bogotá : Univesidad del Norte, 2008. Pág. 12-30.

VILLA, César Ivan Andrade. 2011. Simulación Dinámica y Análisis de Tensión. s.l. : XALAPA, VER., 2011.

Ferroaceros. Productos – AISI 1020 [en línea]. [Consultado el: 5 de Agosto del 2014]. Disponible en internet: <<http://ferraceros.com.co/Productos/Carbono1020.htm> >

Metalplasticss. Productos – Polietileno [en línea]. [Consultado el: 5 de Agosto del 2014]. Disponible en internet: <<http://www.metalplasticsas.com/PlasticosIngenieriaEmpackPolietileno.html>>

## ANEXOS

### Anexo A. Formato de encuesta

A continuación se presenta el cuadro de necesidades recopilada hasta el momento con ayuda de todo el personal relacionado con el proceso de corte. Con el fin asignar la importancia de las estas para el diseño de un sistema de expulsión de bobinas segmentadas para la máquina cortadora TITAN.

Se necesita que usted asigne un valor de 1 a 5 según la relevancia que usted desea que tenga cada necesidad en el proyecto. En este orden de ideas 1 es una calificación de menor relevancia y 5 el de mayor relevancia.

| No. | Planteamiento de la Necesidad  | IMPORTANCIA<br>(1-5) |
|-----|--|----------------------|
| 1   | El sistema de expulsión de bobinas se controla gracias a un sistema automatizado.  |                      |
| 2   | El algoritmo de control del sistema de expulsión debe detectar los atascamientos y devolverse a su estado de reposo o inicial. |                      |
| 3   | El tamaño del sistema de expulsión de bobinas optimiza la mayor cantidad de espacio disponible para su instalación.            |                      |
| 4   | La estructura física del sistema de expulsión de bobinas debe armonizar con la estética de la máquina cortadora.               |                      |
| 5   | El sistema de expulsión de bobinas cuenta con piezas estructurales livianas y se instalan en poco tiempo.                      |                      |
| 6   | El sistema de actuación debe ser seleccionado por su rendimiento, ya sea eléctrico, neumático o hidráulico.                    |                      |

|    |  |  |
|----|--|--|
| 7  | Los materiales para su construcción tengan una buena relación costo-beneficio.   |  |
| 8  | El sistema de expulsión de bobinas debe ser versátil, permitiendo así la adaptación a un nuevo número de bobinas con características diferentes. |  |
| 9  | El control del sistema de expulsión de bobinas sea mediante un panel de control o interfaz amable para el usuario.                               |  |
| 10 | El sistema de expulsión de bobinas debe cumplir con las normas de inocuidad de la empresa.   |  |
| 11 | El sistema de expulsión de bobinas se caracterice por un bajo consumo de energía.  |  |
| 12 | El sistema de expulsión de bobinas cumple con las normas ergonómicas y de seguridad industrial.  |  |
| 13 | La máquina cortadora no debe perder la garantía  |  |
| 14 | La vida útil del sistema sea buena   |  |

Nombre: \_\_\_\_\_

Cargo: \_\_\_\_\_

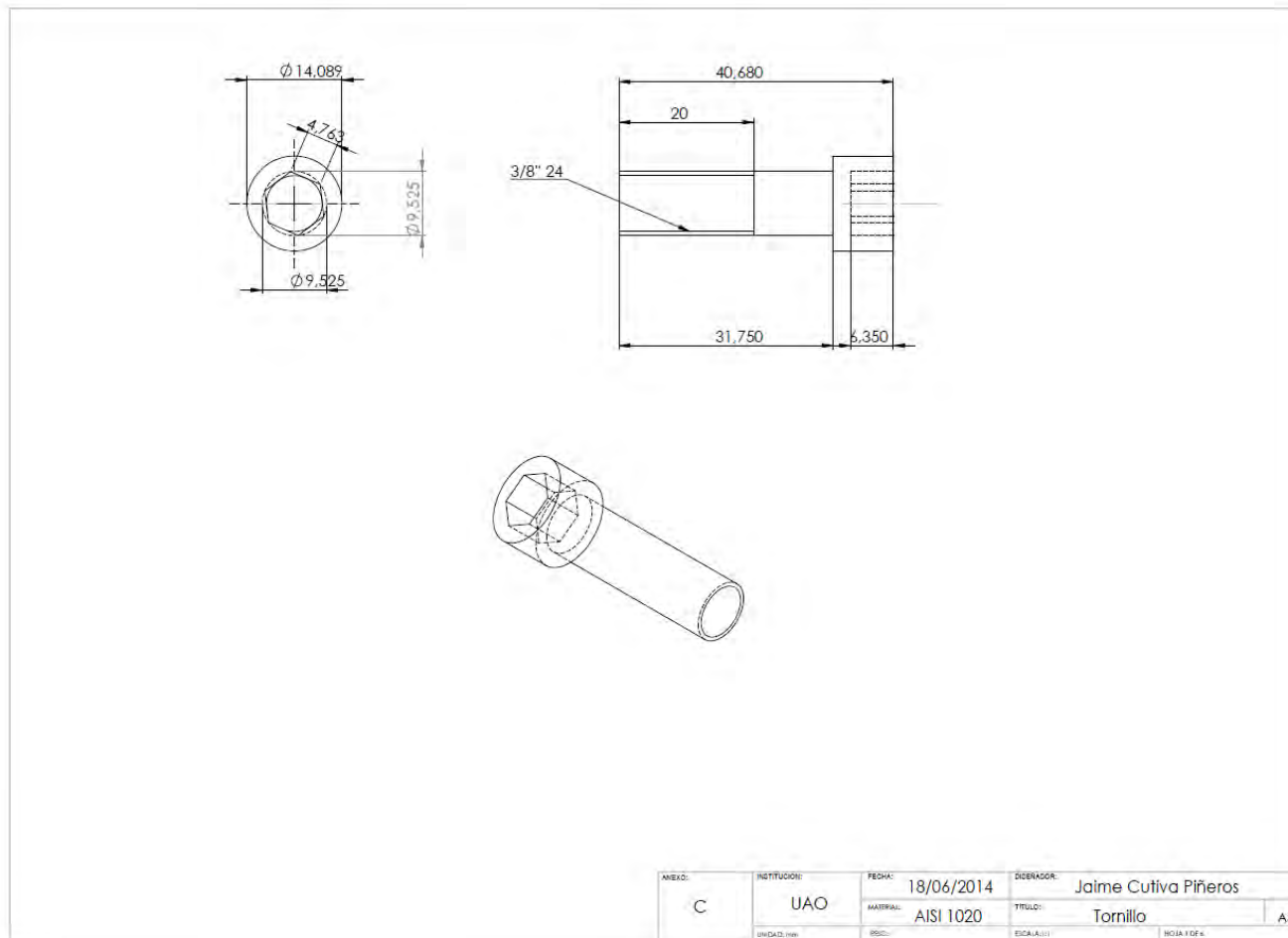
Firma: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

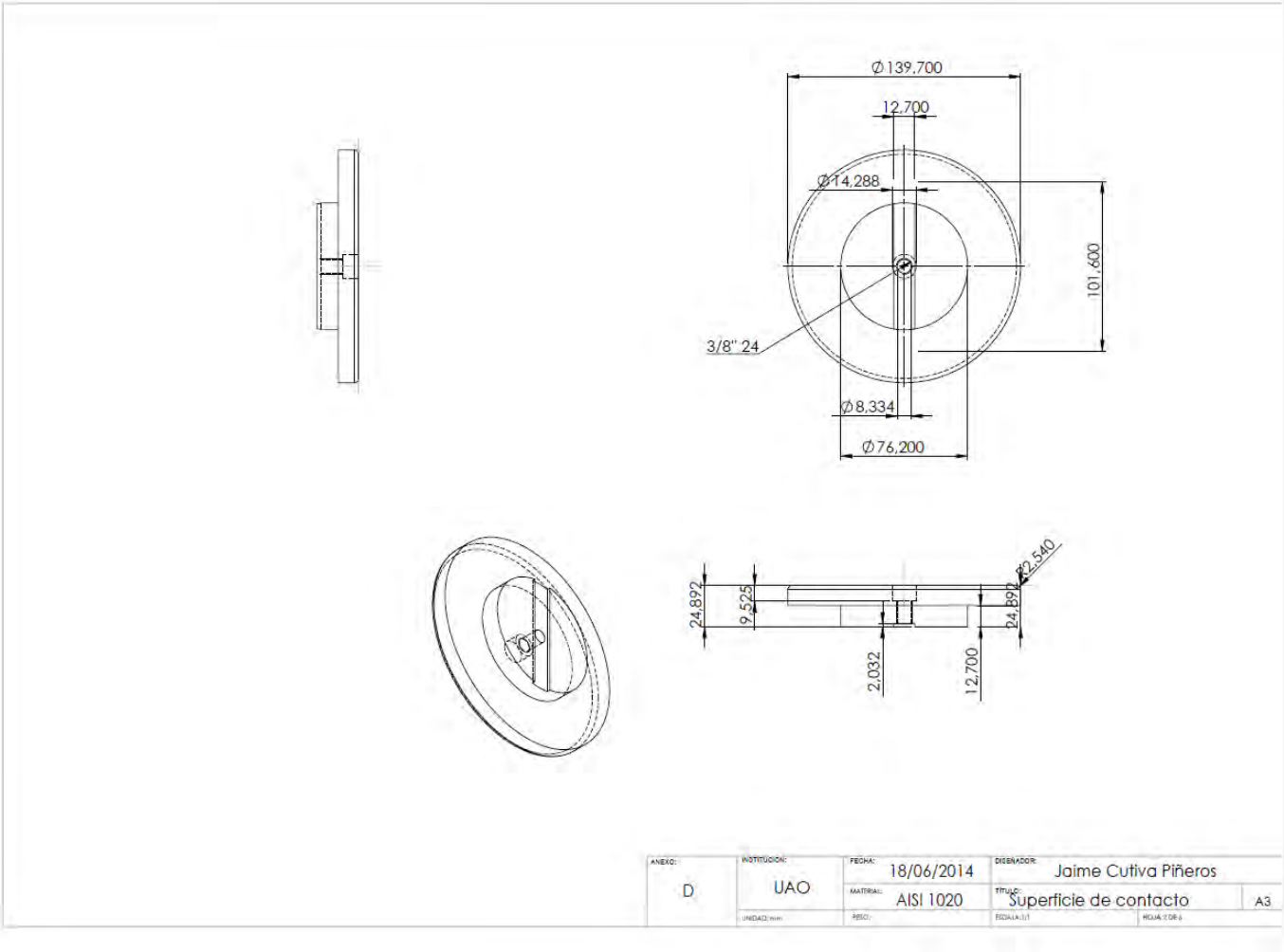
**Jaime Cutiva**  
**Felipe Loaiza**



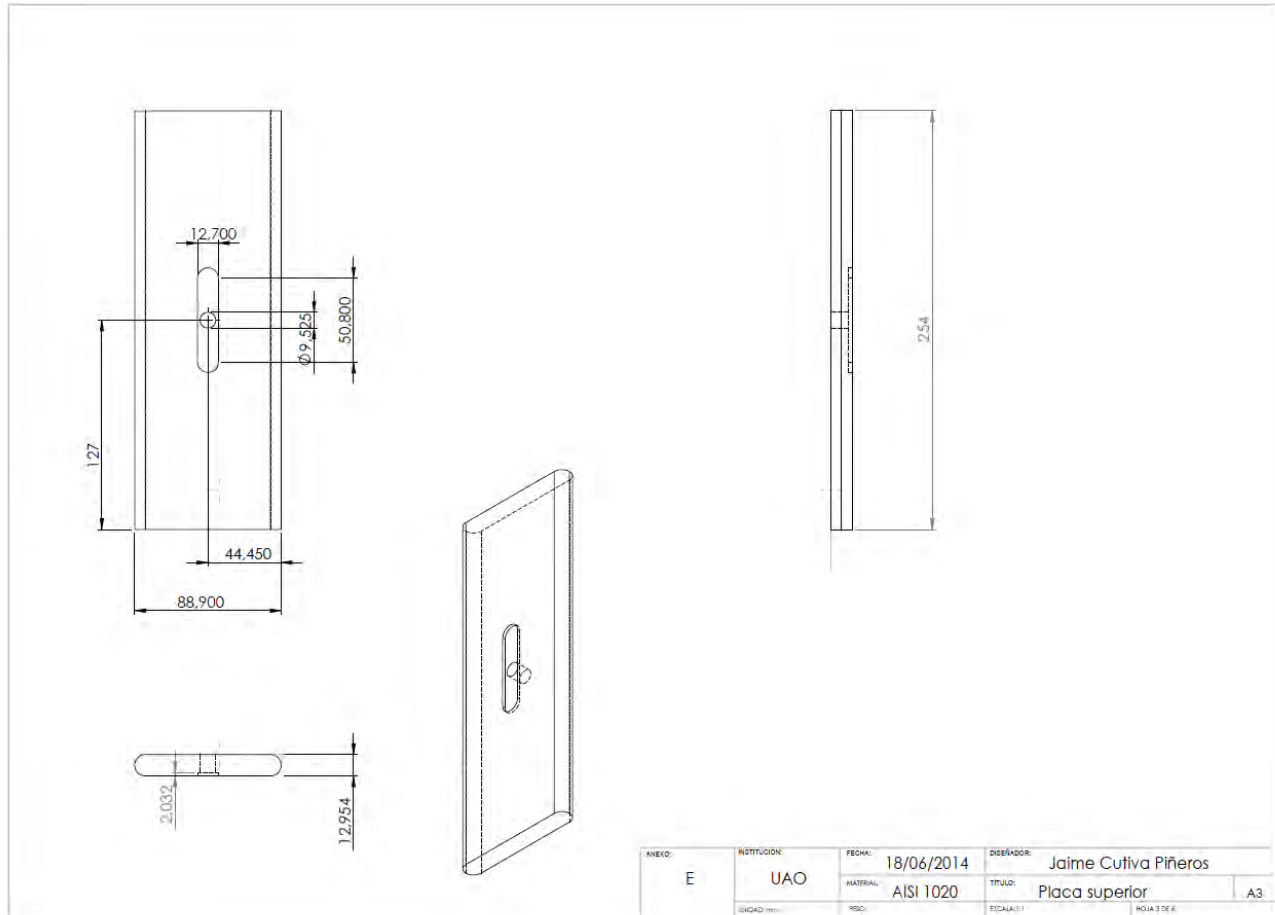
## Anexo C. Tornillo de mecanismo para medir fuerza



Anexo D. Superficie de contacto de mecanismo para medir fuerza

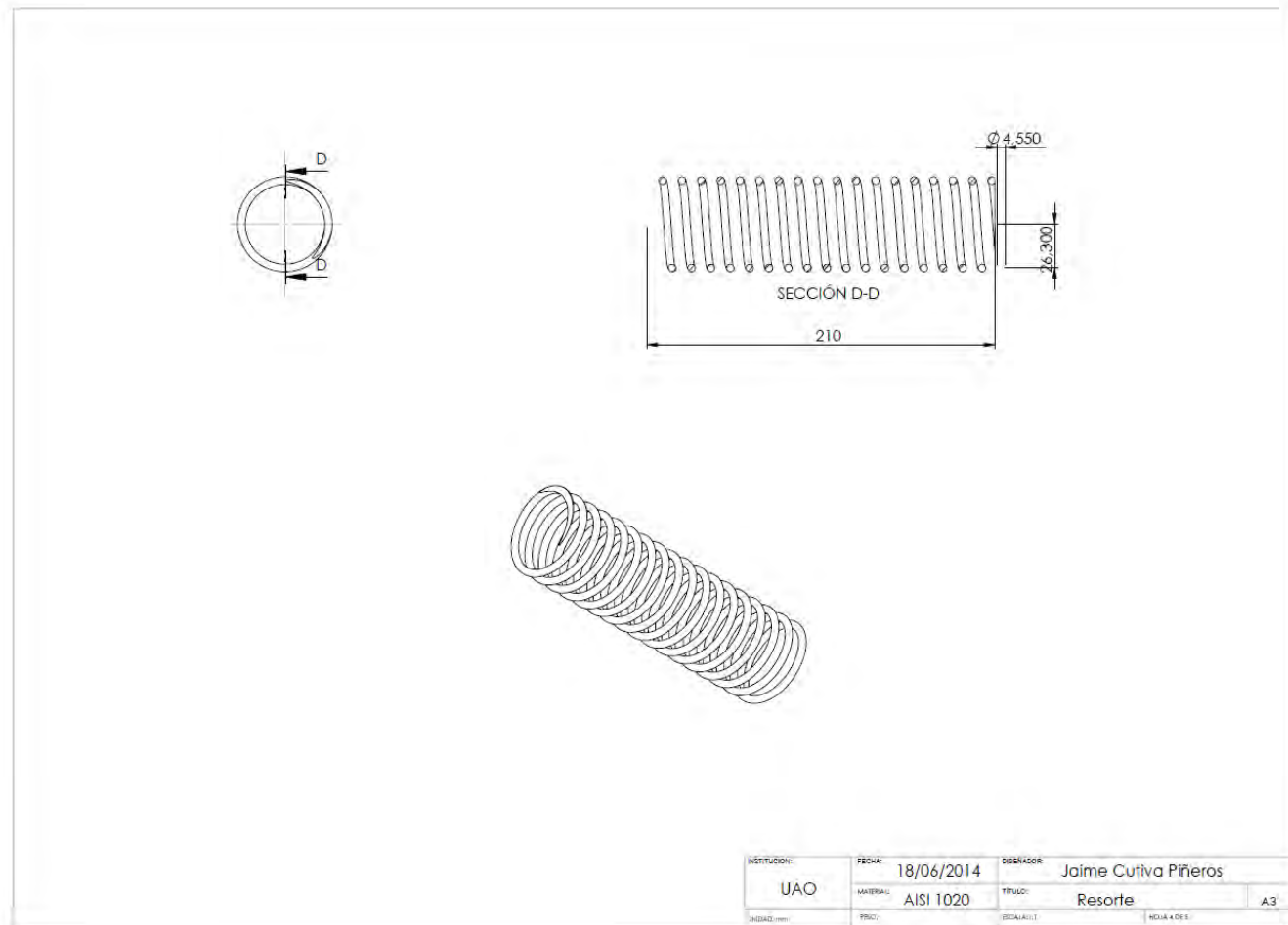


## Anexo E. Placa de mecanismo para medir fuerza

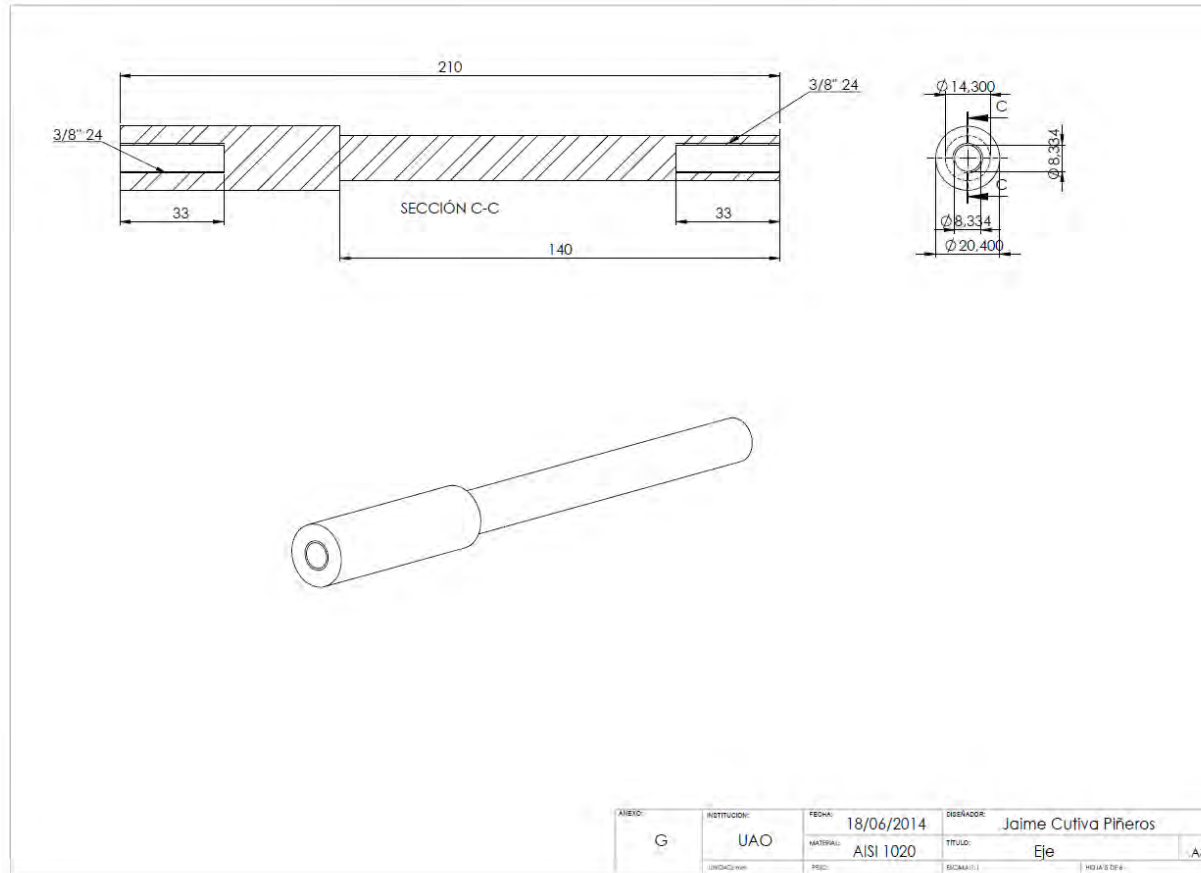




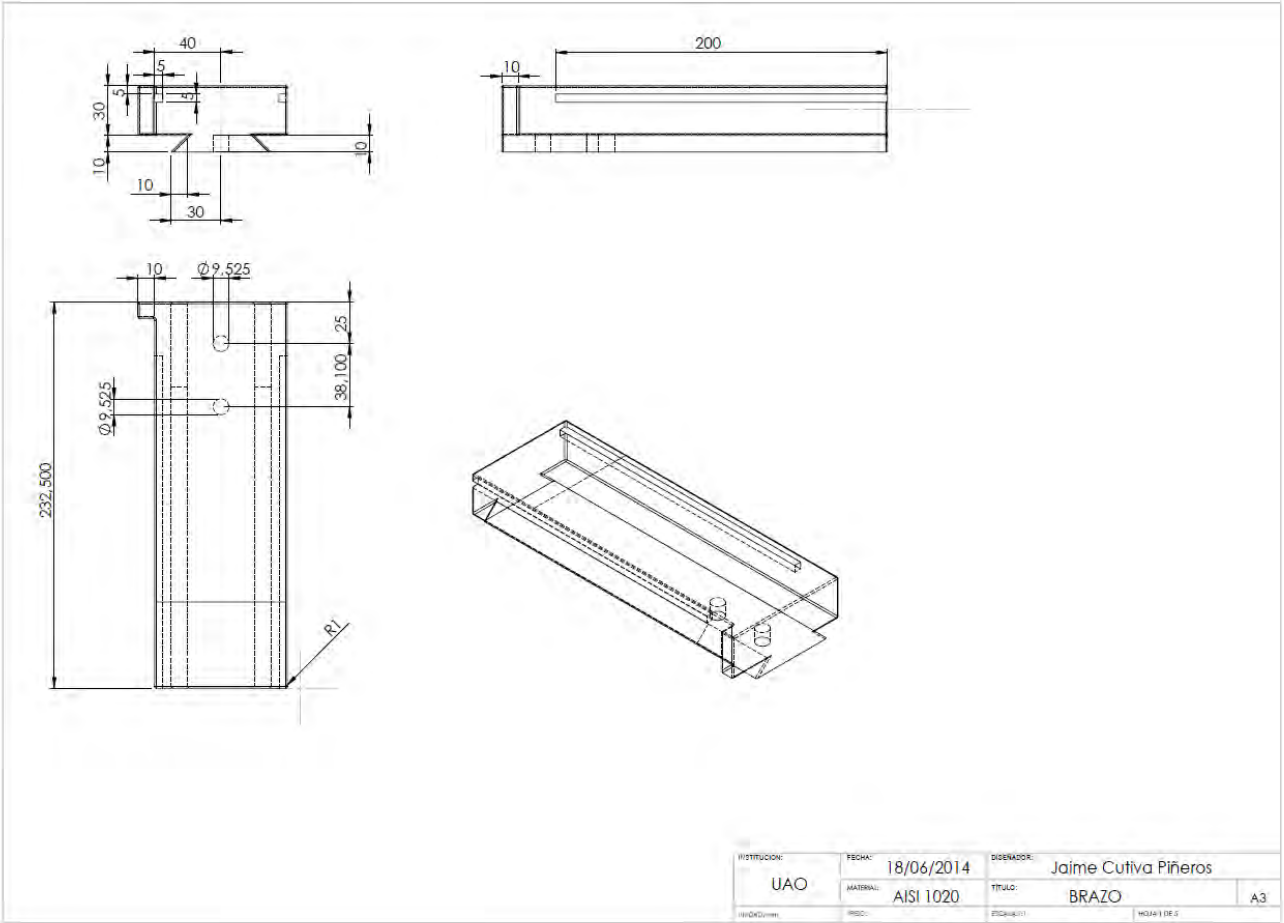
## Anexo F. Resorte de mecanismo para medir fuerza



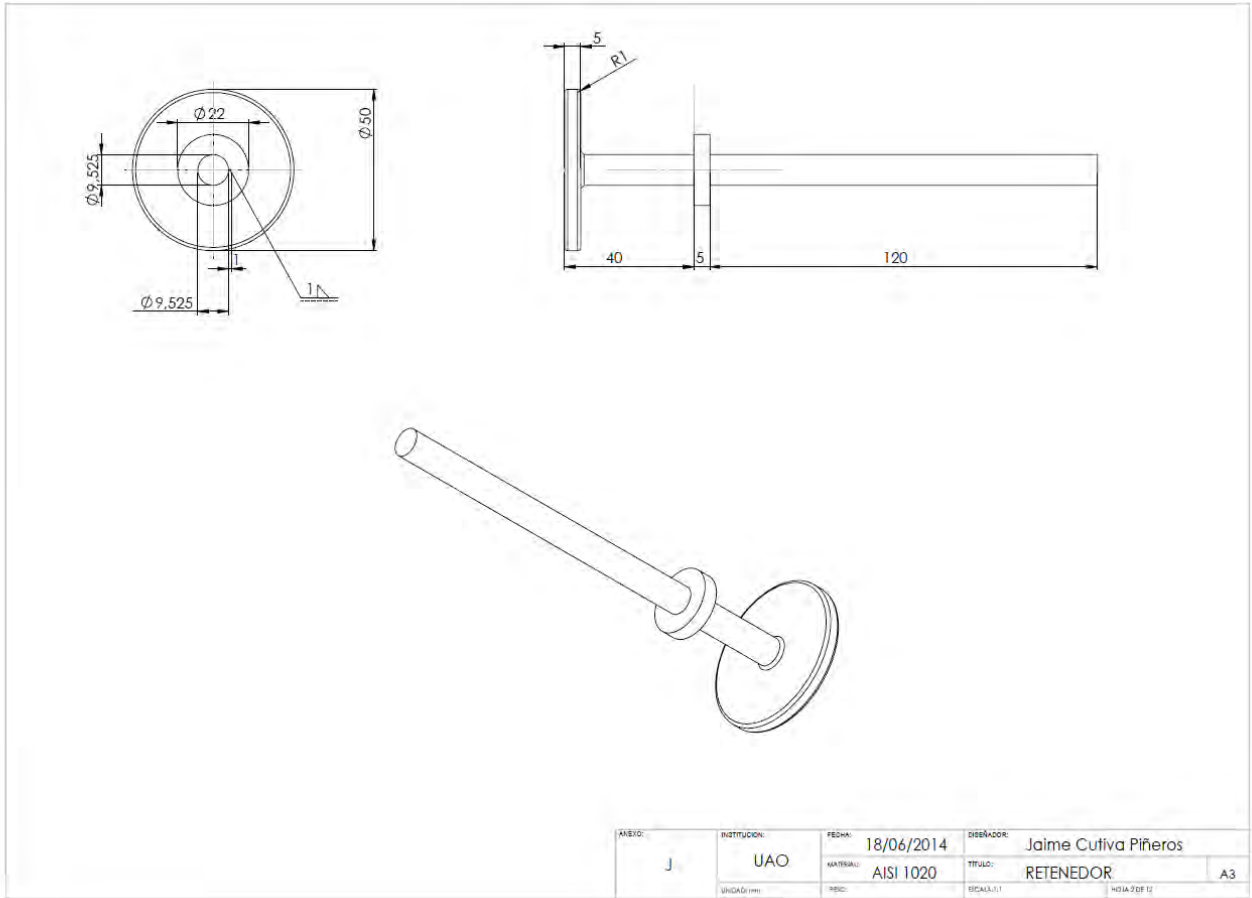
## Anexo G. Eje guía de mecanismo para medir fuerza



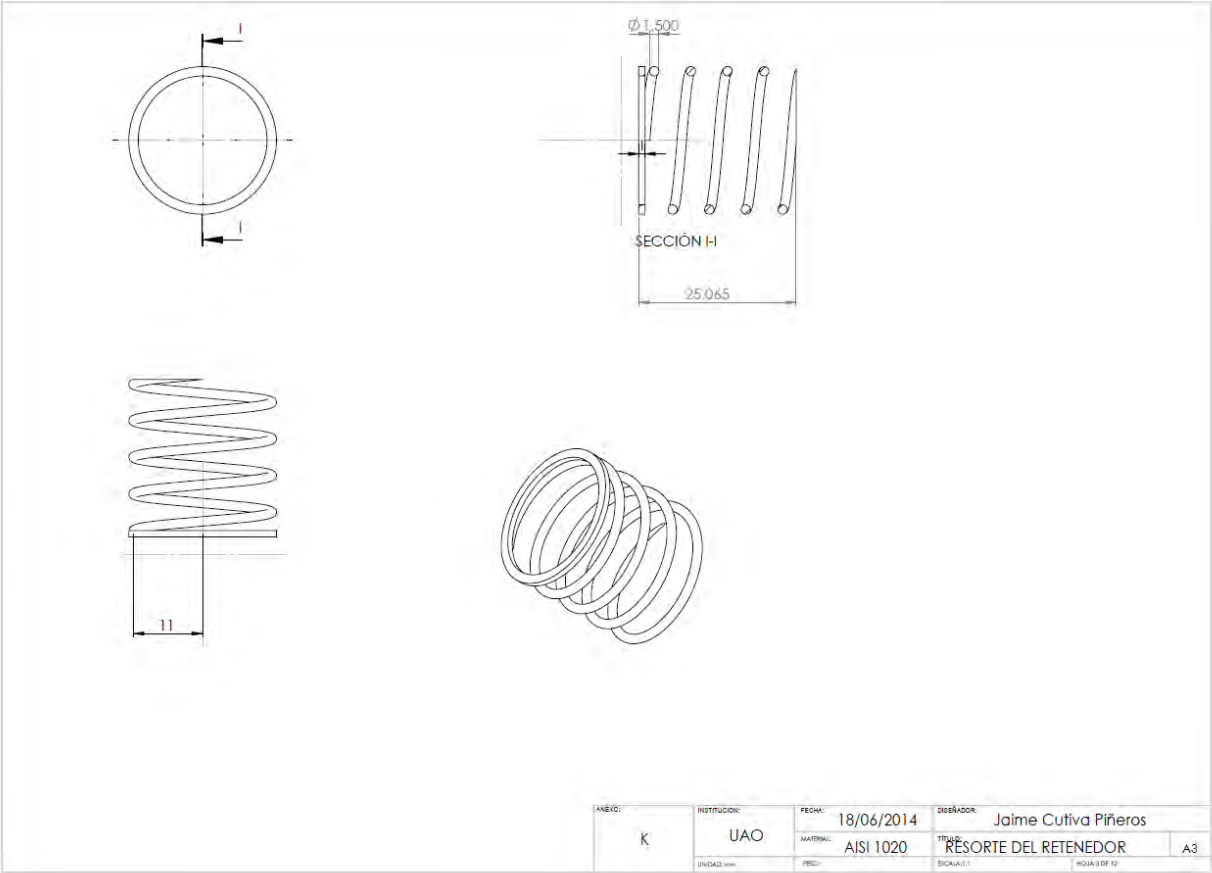
Anexo H. Brazo



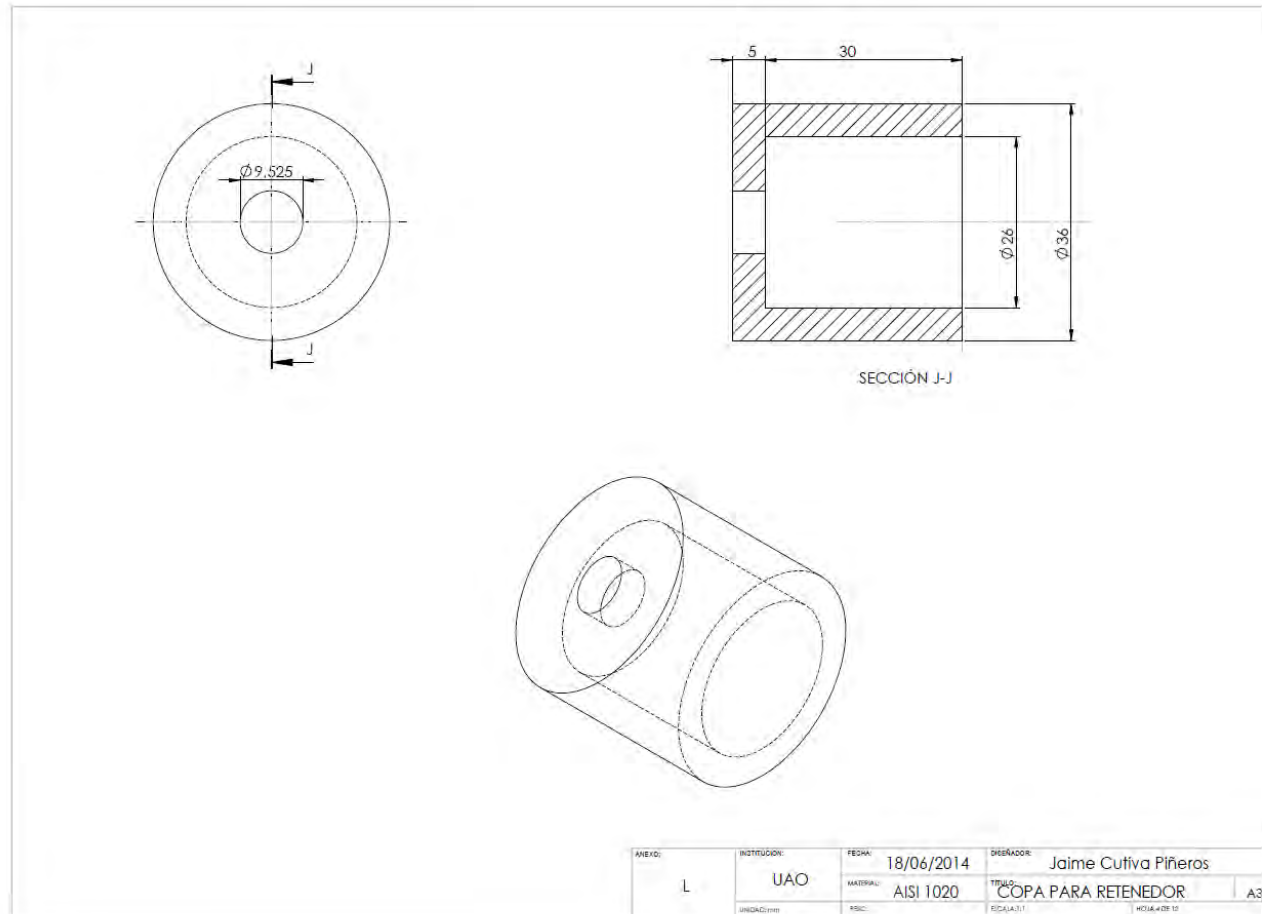
Anexo I. Retenedor



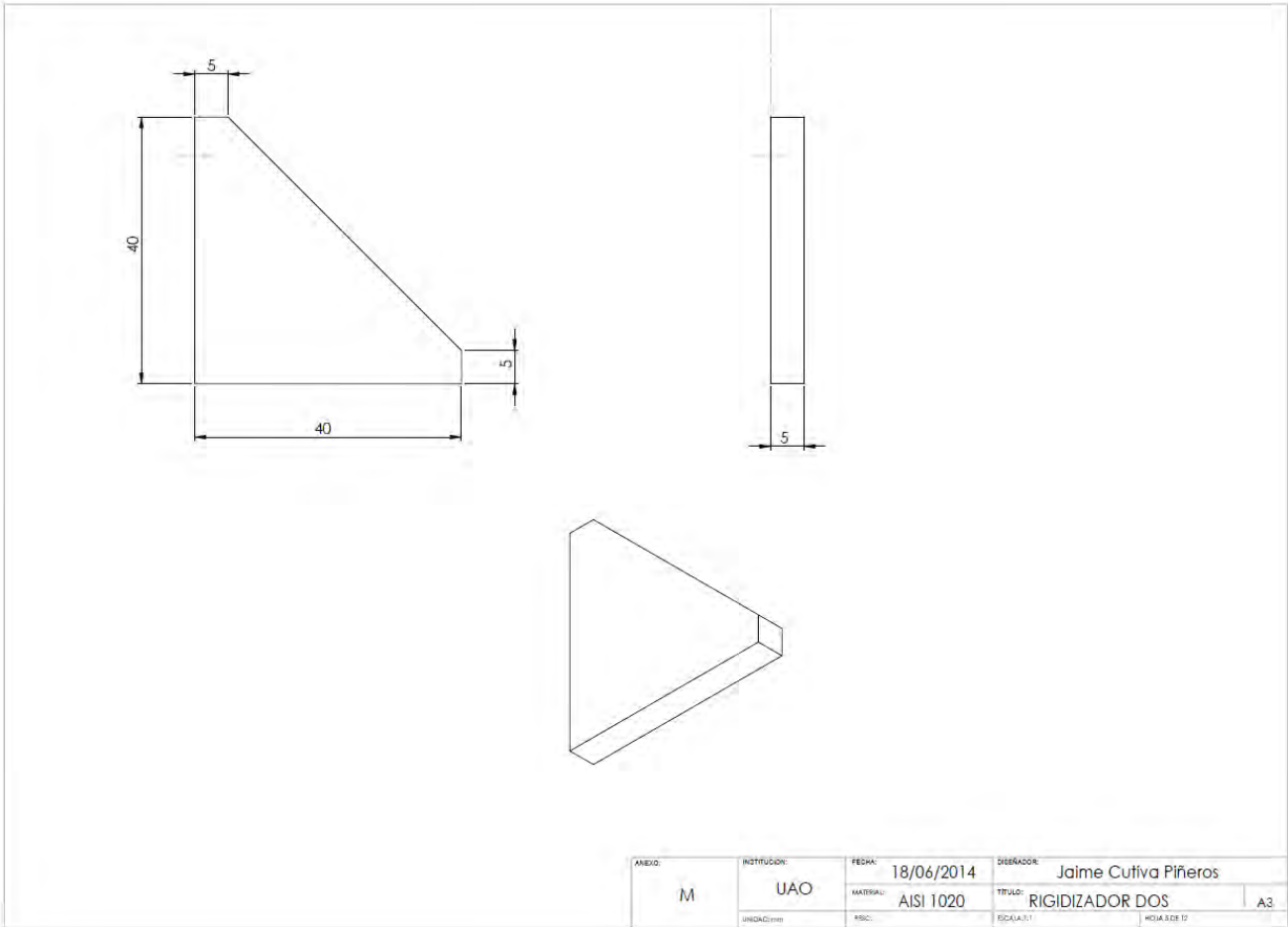
Anexo J. Resorte del retenedor



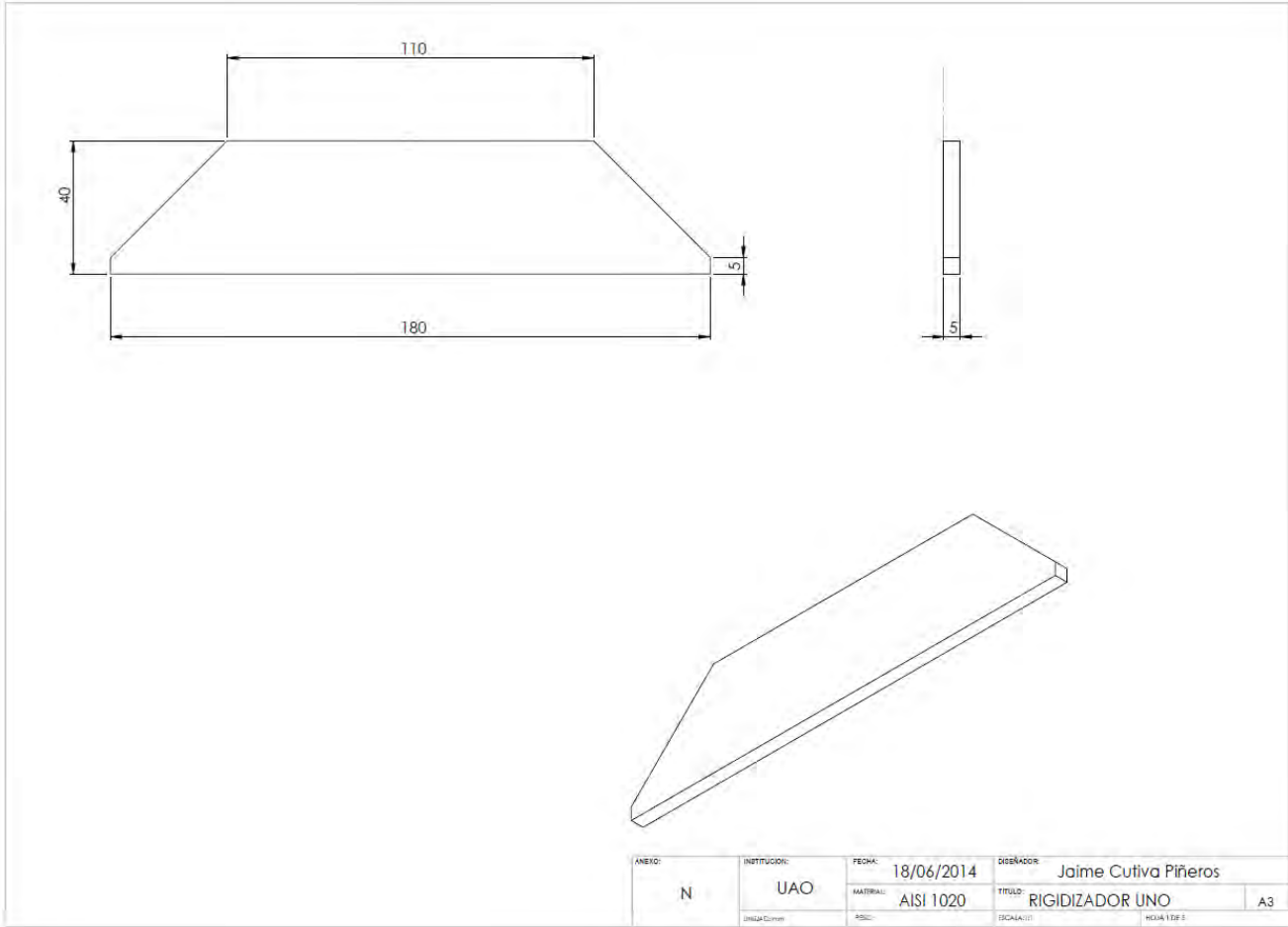
## Anexo K. Copa para retenedor



Anexo L. Rigidizador dos

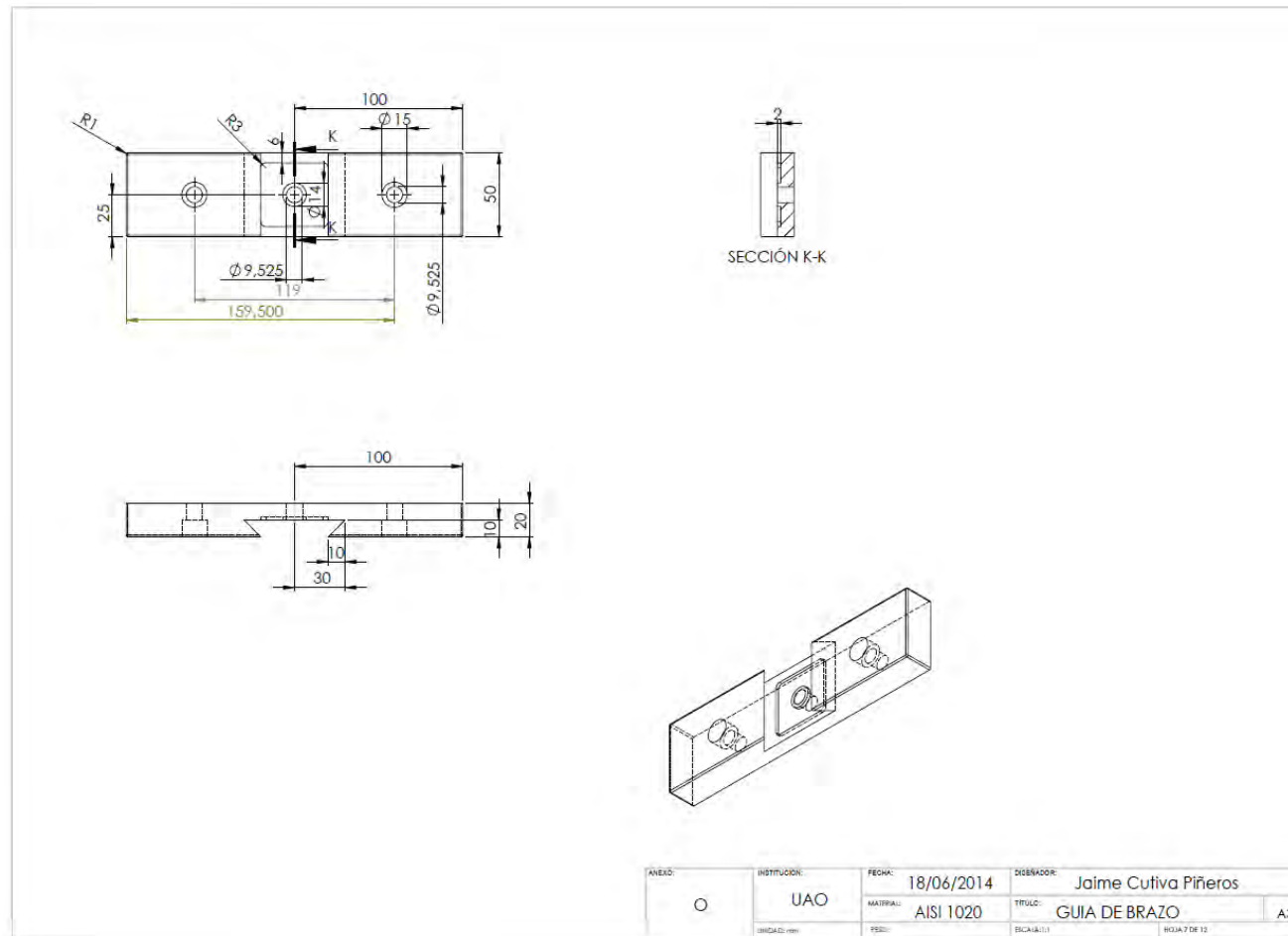


Anexo M. Rigidizador uno

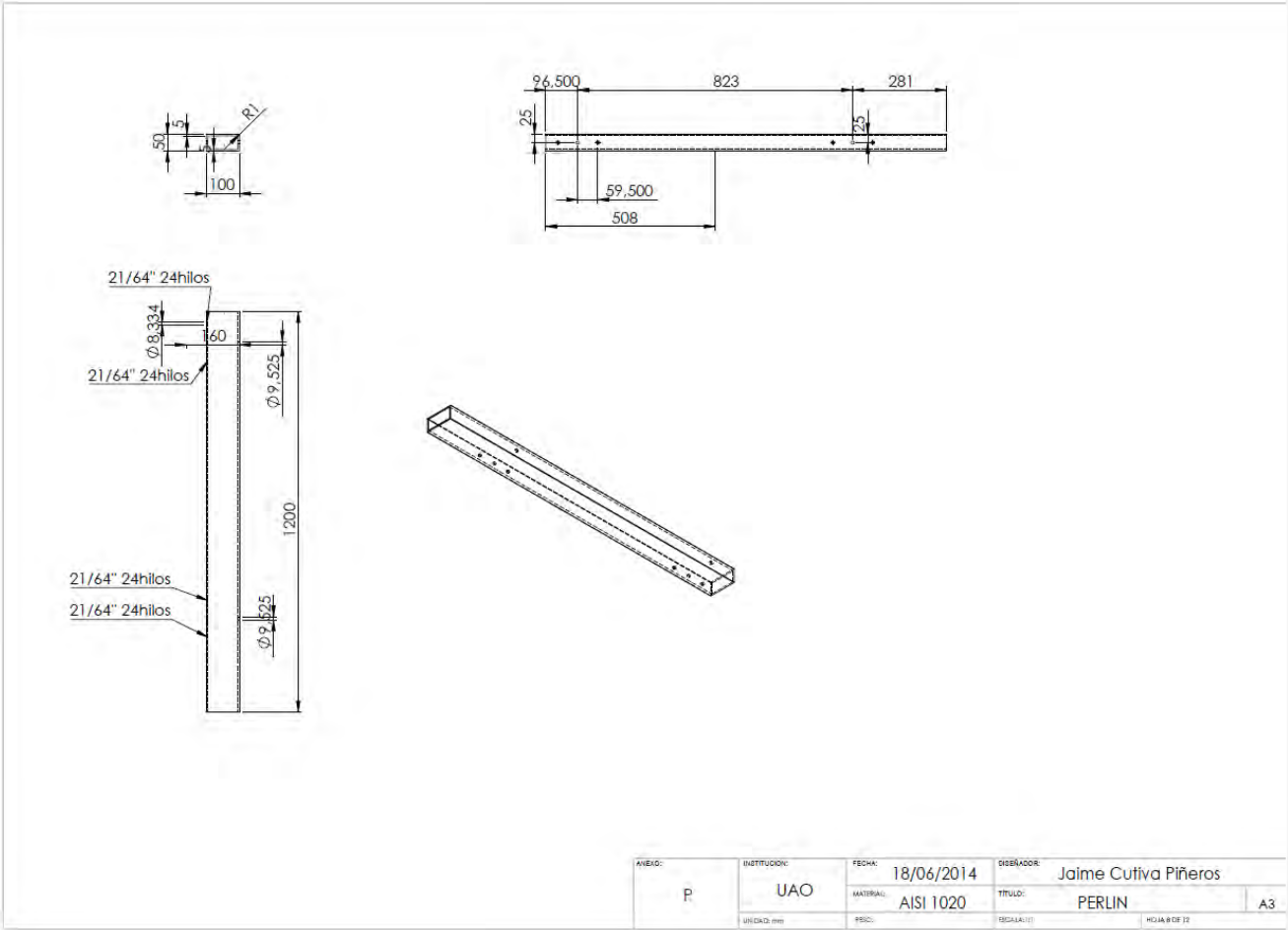




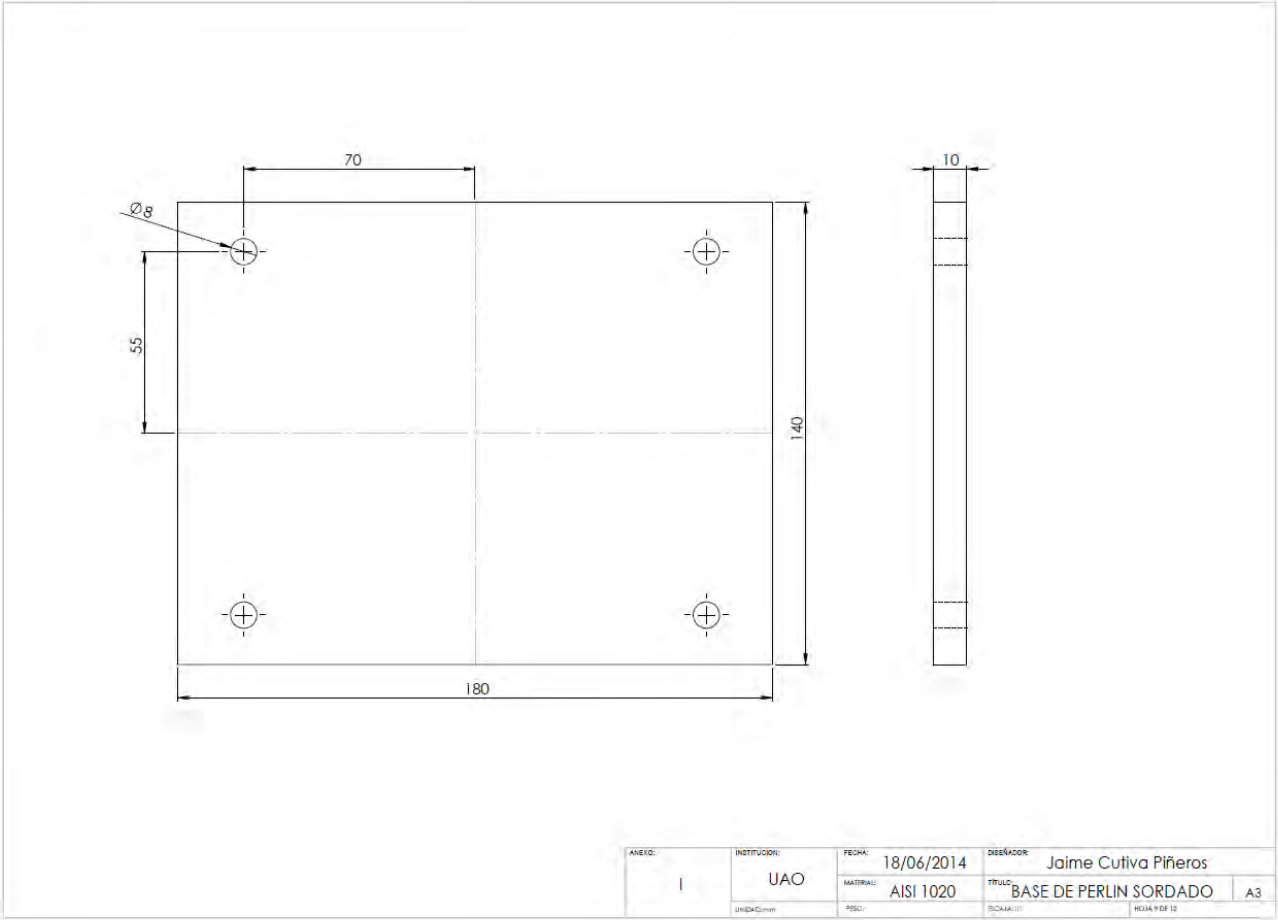
## Anexo N. Guía para Brazo



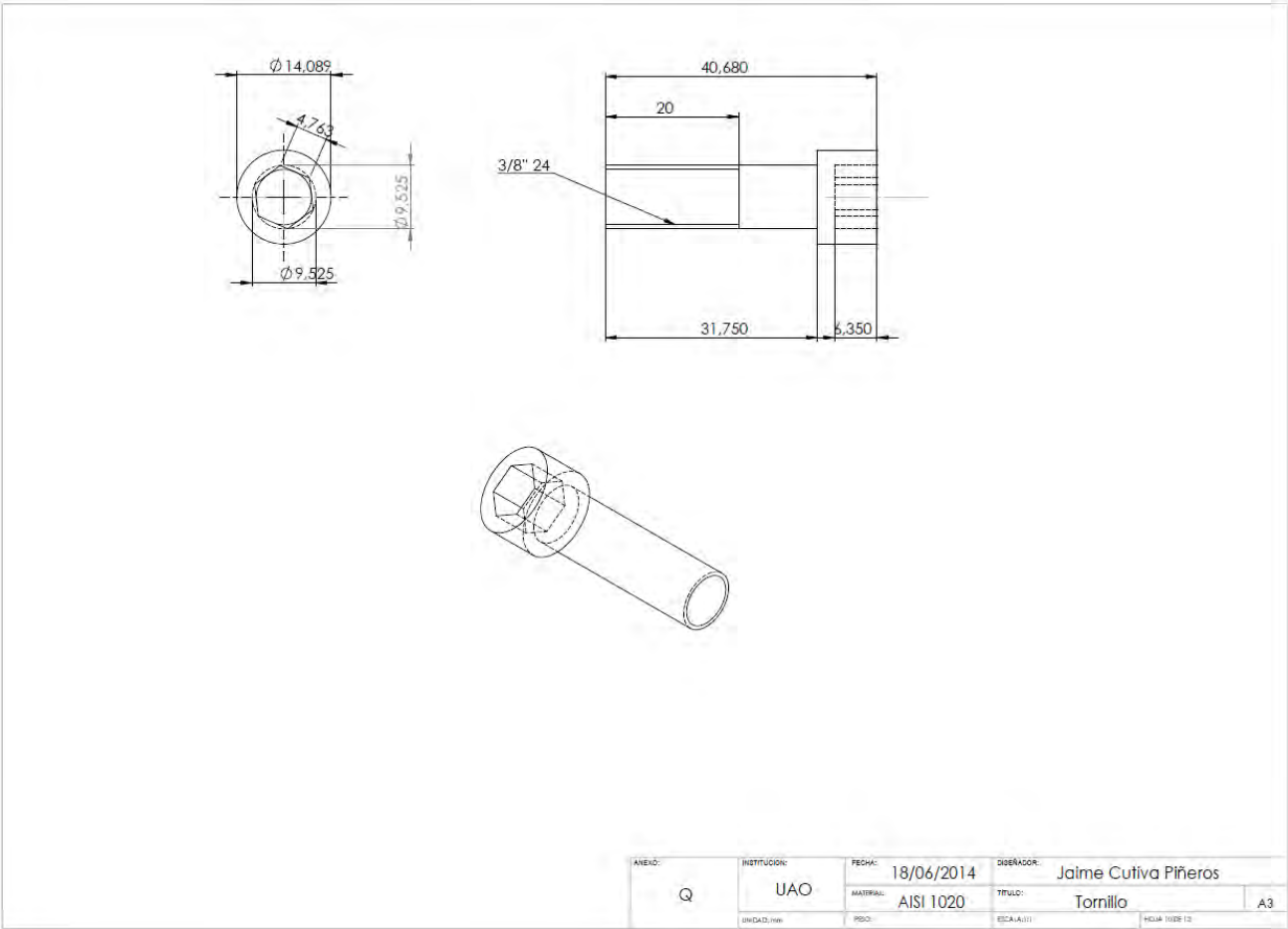
Anexo O. Perlín



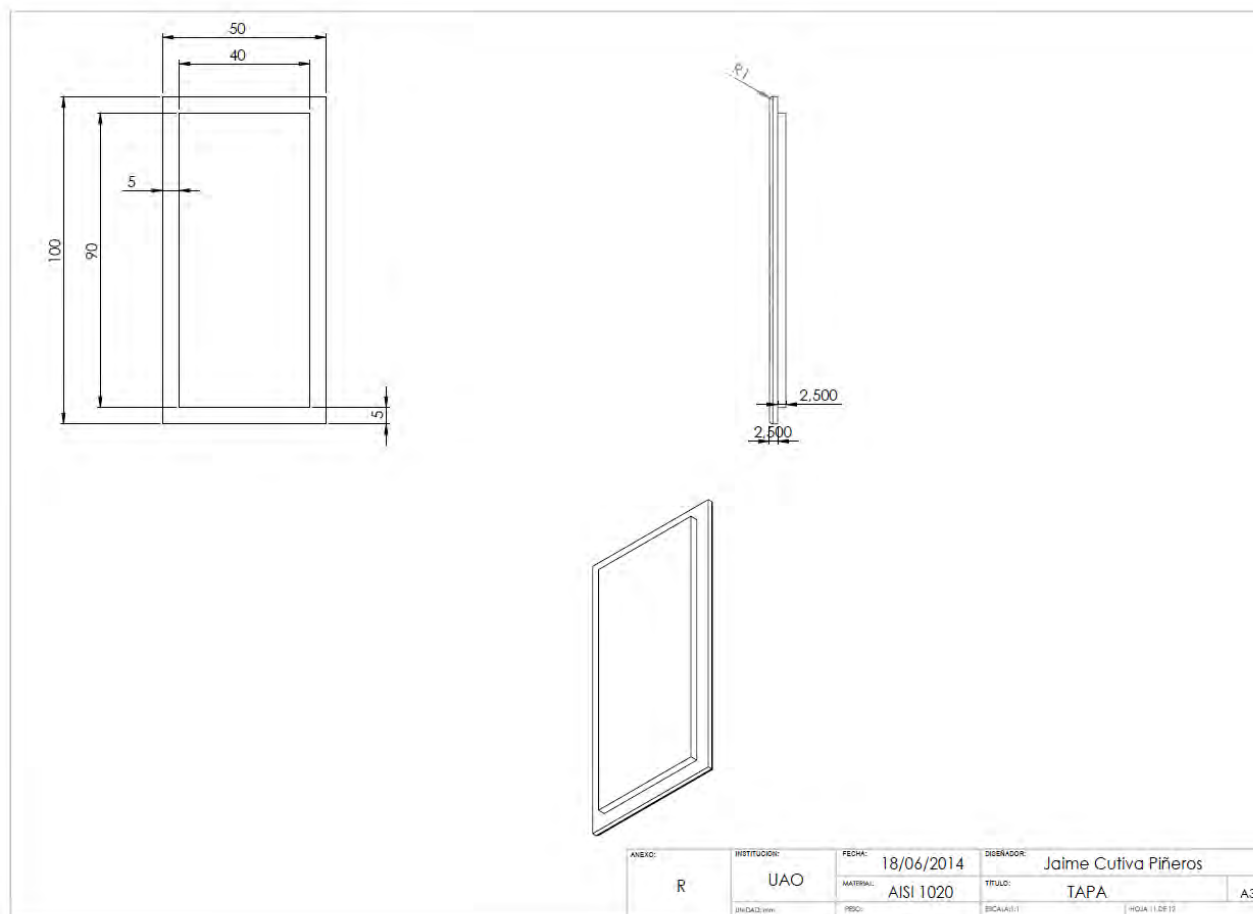
Anexo P. Base para perlín soldado



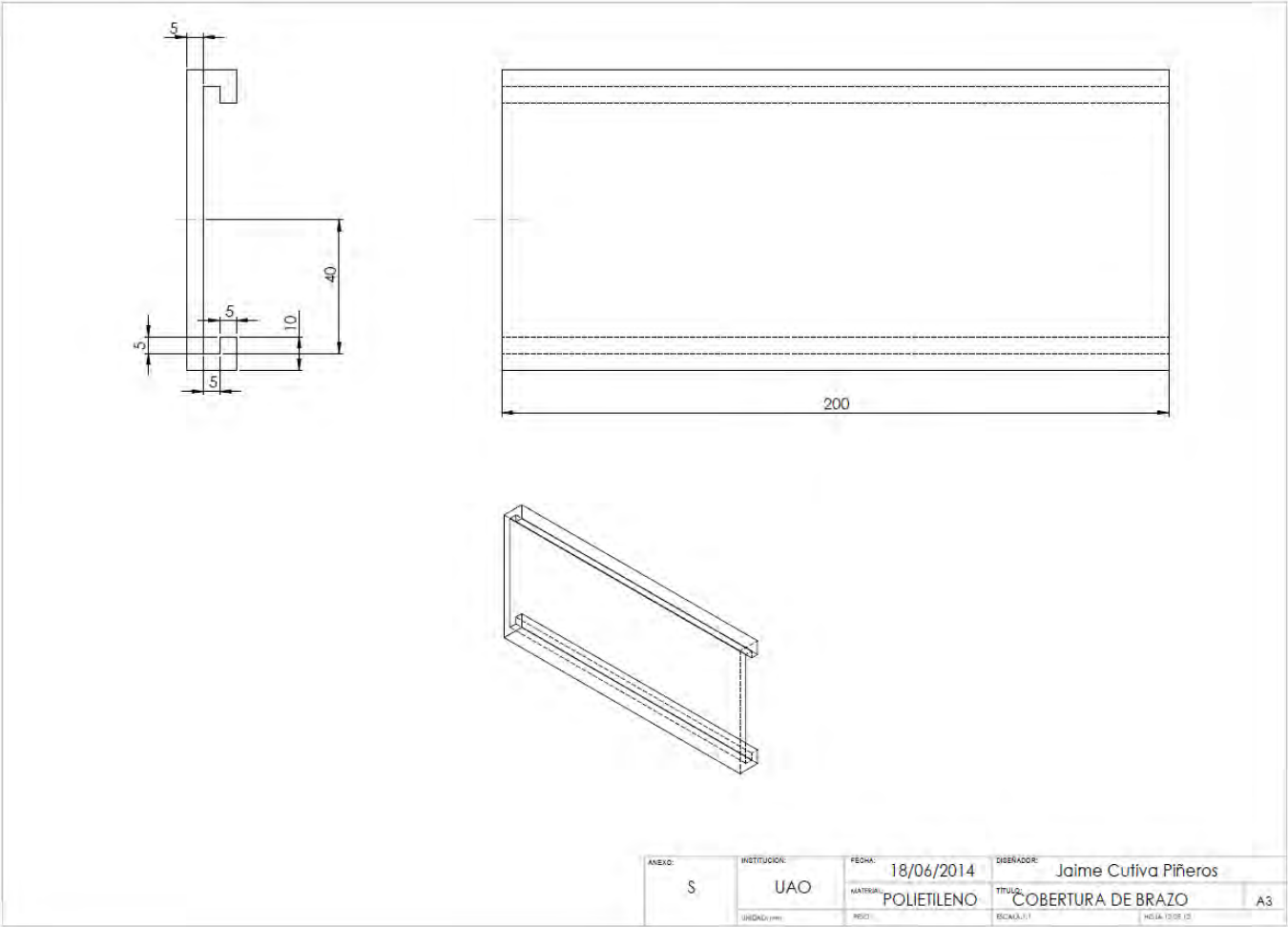
Anexo Q. Tornillo



## Anexo R. Tapa de perlín



**Anexo S. Cobertura de brazo**



## Anexo T. Cotización de partes electrónicas, eléctricas y neumáticas de MICRO

MICRO PNEUMATIC S.A.  
Nit: 830.507.152-1

BOGOTÁ: Calle 19 N°770-53 - Pbx:(57+1)405 0016 - Fax:(57+1)405 0016 Ext.110/123  
CTS MEDELLIN: Cra 52 N°14-30, local 108 Centro Empresarial Olaya Herrera  
Pbx:(57+4) 4443811 - Fax:(57+4)4443811 Ext.104  
REGIONAL CARIBE - BARRANQUILLA: Pbx:(57+5)300 4545 Cel.311-5987031  
REGION VALLE DEL CAUCA - CALI: Pbx:(57+2)372 2217 Cel.311-8113648  
Email: ventas@micro.com.co - ventas2@micro.com.co - www.micro.com.co - Colombia



Cotización Número  
43173

### Micro Pneumatic S.A. - CALI

|                      |              |                           |                          |
|----------------------|--------------|---------------------------|--------------------------|
| <b>Cliente:</b>      | JAIME CUTIVA | <b>Fecha:</b>             | 19/09/2014               |
| <b>Atención:</b>     |              | <b>Condición:</b>         | Contado                  |
| <b>Departamento:</b> | No Definido  | <b>Asesor Industrial:</b> | Johan Echeverry          |
| <b>Dirección:</b>    |              | <b>Asesor Interno:</b>    | JOHAN MANUEL ECHEVERRY   |
| <b>Telefono:</b>     | 301 752 2177 | <b>E-mail Asesor:</b>     | microventas@micro.com.co |
| <b>Nit:</b>          |              | <b>Ciudad:</b>            | CALI                     |

| Item | Cod Producto      | Descripcion   | Cantidad | Precio     | SubTotal   |
|------|-------------------|---|----------|------------|------------|
| 1    | 0.406.700.013     | SILENCIADOR SIMPLE MACHO, CONEXION G1/4   | 2        | \$ 10.621  | \$ 21.242  |
| 2    | 0.441.010.813     | CONECTOR RECTO INST MICRO 441, CONEXION G1/4, PARA TUBO DIAMETRO 8mm  | 3        | \$ 4.390   | \$ 13.170  |
| 3    | 0.441.990.813     | CONECTOR 90G GIRATORIO MICRO 441, CONEXION G1/4, PARA TUBO DIAMETRO 8mm   | 2        | \$ 6.261   | \$ 12.522  |
| 4    | 0.101.003.532     | CONJUNTO MODULAR FR+L, PRESION DE TRABAJO 0-10 BAR, PODER FILTRANTE 50M, CONEXION G1/4 BSP  | 1        | \$ 193.977 | \$ 193.977 |
| 5    | 0.000.012.530     | TUBO POLIURETANO DIAMETRO 8MM (POR METRO)   | 1        | \$ 4.435   | \$ 4.435   |
| 6    | 0.824.000.051     | PLC FAMILIA DVP SV2 16 ENTRADAS DIGITALES (4*200KHz) 12 SALIDAS DIGITALES A RELE PUERTOS COM 1*RS 232/2*RS485 MODBUS -16K STEP-MAX 512 PUNTOS DI/DO | 1        | \$ 736.125 | \$ 736.125 |
| 7    | 0.826.000.002     | FUENTE DE ALIMENTACIÓN 220AC-A-24 CC  | 1        | \$ 96.744  | \$ 96.744  |
| 8    | 0.220.002.522/212 | VALVULA SB-1 5/2, CONEXION G1/4, MANDO ELECTRICO, REACCION RESORTE, TENSION 24VDC 4.5W  | 1        | \$ 205.383 | \$ 205.383 |

**Observacion:** TIEMPO DE ENTREGA 24 HORAS DESPUÉS DE ORDEN DE COMPRA, SALVO PREVIA VENTA, PAGO CONTADO

Valores expresados en PESOS

SubTotal: \$ 1.283.598

Neto: \$ 1.283.598

I.V.A 16%: \$ 205.376

Son: UN MILLON CUATROCIENTOS OCHENTA Y OCHO MIL NOVECIENTOS SETENTA Y TRES

Total: \$ 1.488.973

Tiempo de entrega: 1 día(s)

Validez oferta: 30 días calendario

Garantía: Un año contra defectos de fabricación en condiciones normales de operación utilizados dentro de los límites especificados en la información.

FAVOR ENVIAR ORDEN DE COMPRA A NOMBRE DE MICRO PNEUMATIC S.A Y REFERENCIAR EL NUMERO DE LA COTIZACIÓN.

Cta. Banco de Bogota, 018225383 Cta.Cte. A Nombre de Micro Pneumatic SA  
Cta. Banco de Santander, 214054967 Cta.Cte A Nombre de Micro Pneumatic SA

Cordialmente:  
Johan Echeverry  
Cel.311 8113632

## Anexo U. Cotización de partes neumáticas

MICRO PNEUMATIC S.A.  
Nit: 830.507.152-1

BOGOTÁ: Calle 19 N°70-53 - Pbx:(57+1)405 0016 - Fax:(57+1)405 0016 Ext.110/123  
CTS MEDELLÍN: Cra 52 N°14-30, local 106 Centro Empresarial Olaya Herrera  
Pbx:(57+4) 4443811 - Fax:(57+4)4443811 Ext.104  
REGIONAL CARIBE - BARRANQUILLA: Pbx:(57+5)300 4545 Cel.311-5987031  
REGION VALLE DEL CAUCA - CALI: Pbx:(57+2)372 2217 Cel.311-8113648  
Email: ventas@micro.com.co - ventas2@micro.com.co - www.micro.com.co - Colombia



Cotización Número  
43309

### Micro Pneumatic S.A. - CALI

|                      |              |                           |                              |
|----------------------|--------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>Cliente:</b>      | JAIME CUTIVA | <b>Fecha:</b>             | 24/09/2014                   |
| <b>Atención:</b>     |              | <b>Condición:</b>         | Contado                      |
| <b>Departamento:</b> | No Definido  | <b>Asesor Industrial:</b> | Johan Echeverry              |
| <b>Dirección:</b>    |              | <b>Asesor Interno:</b>    | JOHAN MANUEL ECHEVERRY       |
| <b>Telefono:</b>     | 301 752 2177 | <b>E-mail Asesor:</b>     | microventascali@micro.com.co |
| <b>Nit:</b>          |              | <b>Ciudad:</b>            | CALI                         |

| Item  | Cod Producto  | Descripcion   | Cantidad | Precio        | SubTotal      |
|---|---------------|---|----------|---------------|---------------|
| 1   | 0.047.852.000 | CILINDRO SIN VÁSTAGO SERIE MICRO OSP-P ORIGA, HEAVY DUTY GUIDE (GHD), DOBLE EFECTO, DIÁMETRO 32, CARRERA 2000 | 1        | \$ 12.732.700 | \$ 12.732.700 |
| 2   | 0.048.000.025 | MONTAJE PIE PARA CILINDRO OSP-P DIÁMETRO 40 (PAR)   | 1        | \$ 80.790     | \$ 80.790     |
| Observación: TIEMPO DE ENTREGA DE 5-7 SEMANAS DESPUÉS DE LA ORDEN DE COMPRA |               |   |          |               |               |

Valores expresados en PESOS

SubTotal: \$ 12.813.490

Neto: \$ 12.813.490

I.V.A 16%: \$ 2.050.158

Total: \$ 14.863.648

Son: CATORCE MILLONES OCHOCIENTOS SESENTA Y TRES MIL SEICIENTOS CUARENTA Y OCHO

Tiempo de entrega: día(s)

Validez oferta: 30 días calendario

Garantía: Un año contra defectos de fabricación en condiciones normales de operación utilizados dentro de los límites especificados en la información.

FAVOR ENVIAR ORDEN DE COMPRA A NOMBRE DE MICRO PNEUMATIC S.A Y REFERENCIAR EL NUMERO DE LA COTIZACIÓN.

Cta. Banco de Bogota, 018225383 Cta.Cte. A Nombre de Micro Pneumatic SA  
Cta. Banco de Santander, 214054967 Cta.Cte A Nombre de Micro Pneumatic SA

Cordialmente:  
Johan Echeverry  
Cel.311 8113632



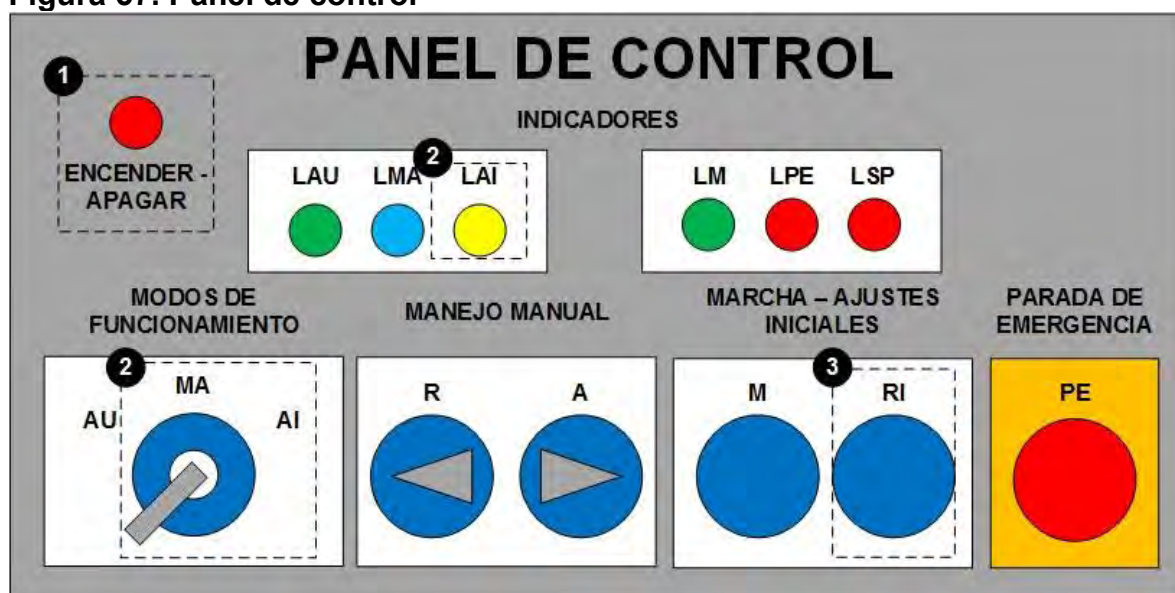
## Anexo V. Manual de funcionamiento del sistema expulsor de bobinas

### Preparación del sistema.

Ajuste del sistema expulsor en condiciones iniciales:

1. Encender el sistema con el interruptor **ENCENDER-APAGAR**.
2. Ubicar el conmutador de modos de funcionamiento en la posición **AI**. De inmediato se encenderá la luz indicadora amarilla **LAI** mostrando la funcionalidad del sistema en modo de condiciones iniciales.
3. Presionar el pulsador de reajuste **RI**.

Figura 57. Panel de control



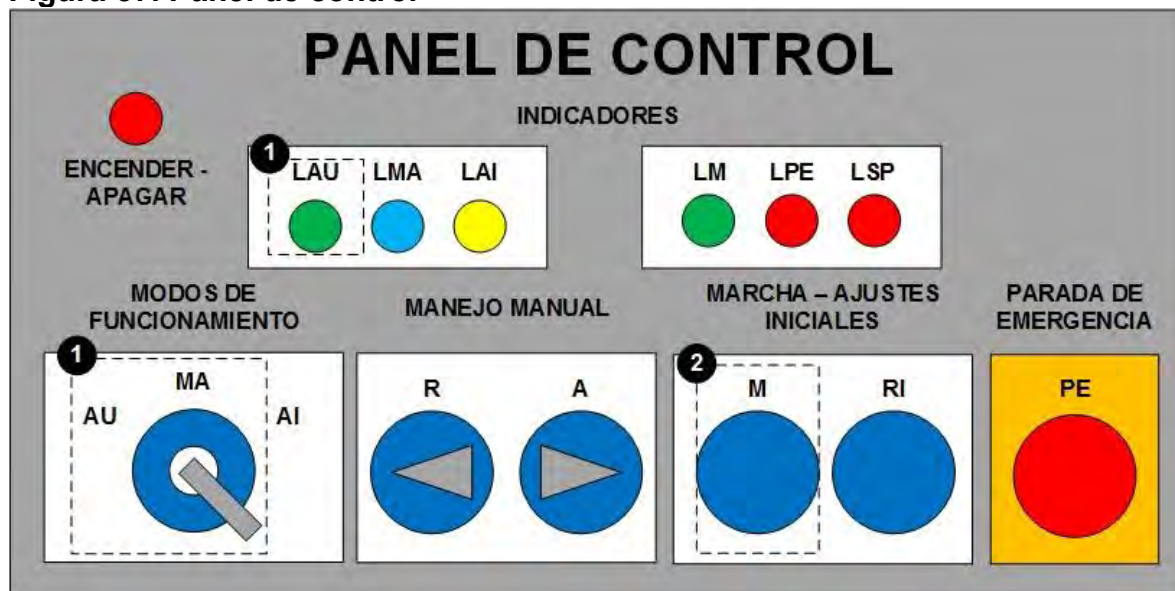
### Manejo del sistema en modo automático.

Pasos para el manejo del sistema expulsor en modo de funcionamiento automático:

1. Ubicar el conmutador de modos de funcionamiento en la posición **AU**. De inmediato se encenderá la luz indicadora verde **LAU** mostrando la funcionalidad del sistema en modo automático.
2. Presionar el pulsador de marcha **M**.

**Nota:** Asegurarse con anterioridad que el sistema de expulsión esté en condiciones iniciales de lo contrario el modo de funcionamiento automático no funcionara.

**Figura 57. Panel de control**

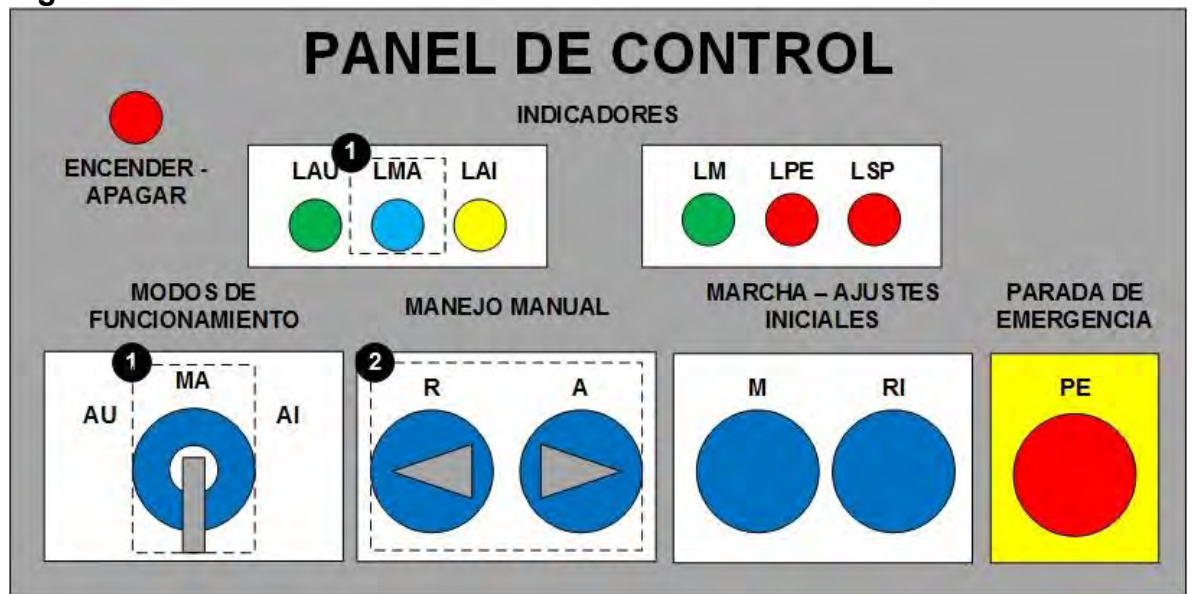


### **Manejo del sistema expulsor en modo manual.**

Pasos para el manejo del sistema expulsor en modo de funcionamiento manual:

1. Ubicar el conmutador de modos de funcionamiento en la posición **MA**. De inmediato se encenderá la luz indicadora azul **LMA** mostrando la funcionalidad del sistema en modo manual.
2. Presionar los pulsadores de adelanto **A** y retroceso **R** según lo deseado.

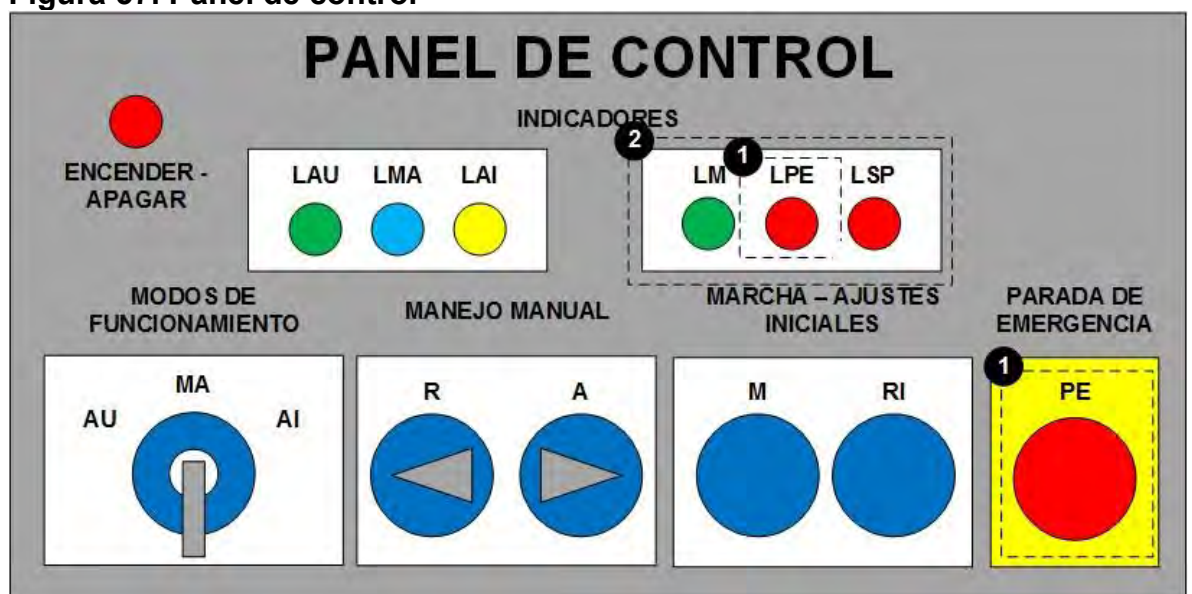
Figura 57. Panel de control



Parada de emergencia, indicadores de marcha y advertencias.

1. Para activar la parada de emergencia presione el interruptor **PE**. De inmediato se encenderá la luz indicadora roja **LPE**.
2. La luz indicadora verde **LM** estará encendida siempre y cuando el sistema expulsor se encuentre en movimiento. La luz indicadora roja **LSP** se encenderá cuando se active el sensor de presencia.

Figura 57. Panel de control



## **Anexo W. Manual de mantenimiento**

### **Limpieza y mantenimiento preventivo del panel de control.**

1. Mantenga el panel de control seco y protegido de la humedad y el polvo. Evite secarlo con una fuente de calor externa.
2. No exponga el panel de control al frío o calor extremos. Este tipo de entornos puede interferir con el correcto funcionamiento.
3. Evite golpes ya que estos pueden producir el mal funcionamiento.
4. Antes de limpiar o hacer tareas de mantenimiento en el panel asegúrese que el sistema esté fuera de funcionamiento y no se encuentra energizado.
5. No limpie el panel de control con detergentes, polvos ni cualquier otro agente químico que no esté estrictamente elaborado para dicha tarea. Utilice un paño limpio, suave y seco.
6. Si el panel de control presenta fallos de funcionamiento evite su utilización, retire la fuente de alimentación y comuníquese con el equipo de mantenimiento.

**Protección Ambiental.** El sistema y sus componentes no se deben desechar con los residuos comunes. El método de desecho del sistema está sujeto a las reglamentaciones locales. Apoye la recolección y el reciclado adecuados.

### **Recomendaciones de mantenimiento.**

#### **Mantenimiento del sistema neumático y mecánico.**

1. Cartuchos de filtro de entrada: Inspeccione y límpielos o cámbielos de acuerdo a especificaciones del fabricante. Filtros sucios incrementan el consumo de energía.
2. Separadores de aceite contenido en el aire: Reemplácelos de acuerdo a las especificaciones del fabricante o cuando la caída de presión exceda las 10 psi de diseño.
3. Temperaturas de operación: Verifique que la temperatura de operación sea la indicada por el fabricante.

4. Fugas en el sistema: Revise fugas en las líneas (principalmente en las uniones) herrajes, abrazaderas, válvulas, mangueras, reguladores, filtros, lubricadores, conexión de medidores y equipos finales.
5. Limpieza del sistema: Mantenga limpio el sistema, revise fugas de aceite tanto del compresor como del motor eléctrico.
6. Todos los equipos en un sistema de aire comprimido se deben de mantener de acuerdo a las especificaciones de su fabricante. Algunos fabricantes ofrecen un programa de servicios de mantenimiento que puede ser contratado y ejecutado de manera estricta. En muchos casos, tiene sentido darles mantenimiento a los equipos con mayor frecuencia que los intervalos recomendados por los fabricantes, los cuales están diseñados en principio para proteger a los equipos.
7. La única forma de saber si al sistema se le está dando un buen mantenimiento y si éste se encuentra operando apropiadamente, es revisar periódicamente las relaciones entre la potencia, la presión y el flujo del sistema. Si la potencia utilizada indica que los valores de presión y flujo están subiendo, la eficiencia del sistema está disminuyendo. Estas relaciones también permitirán saber si el compresor está operando a carga total y si la capacidad se disminuye fuera de tiempo.
8. Las áreas principales del sistema de compresión a las que se les necesita dar mantenimiento son: el compresor, las superficies del intercambiador de calor, el separador del aceite en el aire, el lubricante, el filtro de aceite y los filtros de aire a la entrada.
9. Tanto el aceite como el filtro de aceite necesitan ser cambiados. Después de ciertas horas de uso, los lubricantes empiezan a ser corrosivos y pueden degradar tanto el equipo como la eficiencia del sistema.
10. Los filtros de aire y la tubería a la entrada también deben mantenerse limpios. Un filtro sucio puede reducir la capacidad y la eficiencia del sistema. Los filtros se pueden mantener por debajo de las especificaciones del fabricante, tomando en cuenta el nivel de contaminantes del aire alrededor de la instalación.
11. Las fallas en el tratamiento del aire comprimido pueden generarnos un excesivo consumo de energía, lo mismo que una calidad pobre del aire puede poner en peligro otros equipos. Todos los filtros deben mantenerse limpios. Los secadores, postenfriadores y separadores se deben de limpiar para que se mantengan de acuerdo a especificaciones de sus fabricantes.
12. Todas las trampas deben ser revisadas periódicamente y estar seguros que no estén pegadas. Una trampa pegada en posición de abierto fugará el aire comprimido y una trampa pegada en la posición cerrado causará que el condensado se regrese, pudiendo poner en peligro otros componentes.
13. Los puntos de uso final donde se utilizan filtros, reguladores y lubricadores, necesitan recibir herramientas limpias, lubricadas y suministrarles aire a la presión requerida.

14. Los filtros deben ser inspeccionados periódicamente; un filtro obstruido incrementará su caída de presión, lo cual puede hacer que se reduzca la presión en el punto de consumo, o bien puede incrementar la presión requerida del compresor, con el consecuente consumo excesivo de energía
15. Establecer un programa regular de mantenimiento, bien organizado y con un estricto seguimiento, hará que el desempeño del sistema se mantenga en su más alto nivel, por lo que se recomienda tener una persona responsable de asegurar que todo el mantenimiento sea realizado bajo este programa, documentando adecuadamente las acciones realizadas.
16. Revisar con periodicidad el estado de las láminas de polietileno y cambiar en caso de ser necesario.
17. Inspeccionar el estado de las uniones de las componentes del brazo mecánico con el objetivo de encontrar averías o cambios estructurales.

#### **Mantenimiento del sistema eléctrico y electrónico.**

1. Mantener los equipos siempre limpios, usar paños secos y evitar el uso de agua o detergentes.
2. Todos los equipos en un sistema eléctrico y electrónico se deben de mantener de acuerdo a las especificaciones de su fabricante. Algunos fabricantes ofrecen un programa de servicios de mantenimiento que puede ser contratado y ejecutado de manera estricta. En muchos casos, tiene sentido darles mantenimiento a los equipos con mayor frecuencia que los intervalos recomendados por los fabricantes, los cuales están diseñados en principio para proteger a los equipos.
3. Revise el estado de los interruptores y pulsadores que hacen parte del panel de control y realice pruebas de funcionamiento con periodicidad.
4. Asegúrese que el empaquetado y el aislamiento de los componentes se encuentre en buen estado, de no estarlo deben cambiarse o tomar medidas correctivas de inmediato.



## Anexo X. Guía técnica MICRO para selección de pistón neumático

**MiCRO**

**Cilindros sin vástago**

Serie MICRO Origa OSP-P  
Heavy Duty Guide HD

**Tabla de fuerzas y momentos**

| Tipo   | $F_A$<br>(6 bar)<br>(N) | $M_x$<br>(Nm) | $M_y$<br>(Nm) | $M_z$<br>(Nm) | $F_y$<br>(N) | $F_z$<br>(N) | $M_0$<br>(°)<br>(kg) | $M_{100}$<br>(°)<br>(kg) | $M_M$<br>(°)<br>(kg) |
|--------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|----------------------|--------------------------|----------------------|
| GHD 25 | 295                     | 260           | 320           | 320           | 6000         | 6000         | 3                    | 0,9                      | 1,29                 |
| GHD 32 | 483                     | 285           | 475           | 475           | 6000         | 6000         | 4,3                  | 1,1                      | 1,37                 |
| GHD 40 | 754                     | 800           | 1100          | 1100          | 15000        | 15000        | 7,9                  | 1,7                      | 2,71                 |
| GHD 50 | 1178                    | 1100          | 1400          | 1400          | 18000        | 18000        | 11,6                 | 2,2                      | 3,55                 |

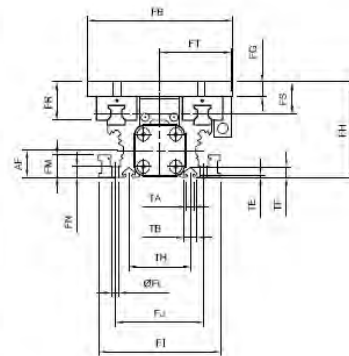
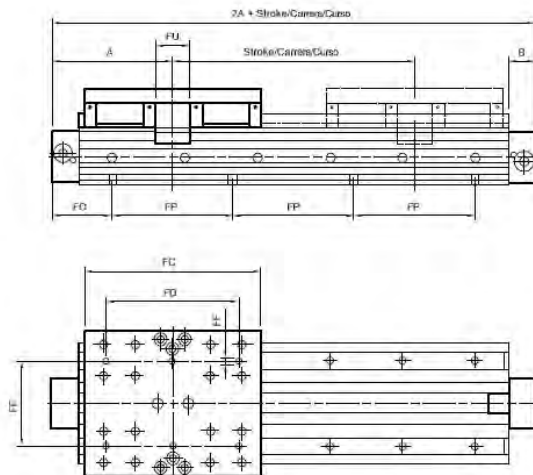
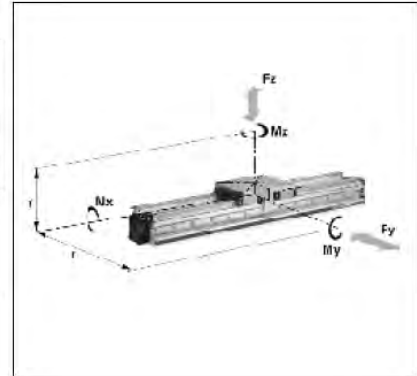
(\*)  $M_0$ : Masa básica del cilindro con guía lineal (carrera 0 mm).

(\*)  $M_{100}$ : Masa de incremento de carrera cada 100 mm.

(\*)  $M_M$ : Masa del carro móvil.

Los datos de fuerza y momentos de la tabla son máximos. Se debe verificar lo siguiente con los valores reales:

$$\frac{M_x}{M_{x_{\max}}} + \frac{M_y}{M_{y_{\max}}} + \frac{M_z}{M_{z_{\max}}} + \frac{F_y}{F_{y_{\max}}} + \frac{F_z}{F_{z_{\max}}} \leq 1$$



La cota FO deriva de los últimos dos dígitos de la carrera:

Ejemplo: Carrera 1525 mm

Para un cilindro GDL-25, la tabla de página 1.5.5.8 indica que para X=25 mm corresponde FO=62,5 mm

Dimensiones compatibles con serie anterior Guideline:

| Tipo   | A   | AF | B    | FB  | FC  | FD  | FE  | FF | FG | FH  | FI  | FJ  | FL  | FM   | FN | FP  | FQ | FR | FS   | FT | FU | TA  | TB   | TE  | TF   | TH |
|--------|-----|----|------|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|----|-----|----|----|------|----|----|-----|------|-----|------|----|
| GHD 25 | 100 | 22 | 22   | 120 | 145 | 110 | 70  | M6 | 11 | 78  | 100 | 73  | 6   | 17,5 | 8  | 100 | 45 | 31 | 25   | 59 | 28 | 5,2 | 11,5 | 1,8 | 6,4  | 50 |
| GHD 32 | 125 | 30 | 25,5 | 120 | 170 | 140 | 80  | M6 | 11 | 86  | 112 | 85  | 6   | 17,5 | 8  | 100 | 45 | 31 | 25   | 63 | 30 | 5,2 | 11,5 | 1,8 | 6,4  | 60 |
| GHD 40 | 150 | 38 | 28   | 160 | 180 | 140 | 110 | M8 | 14 | 108 | 132 | 104 | 7,5 | 22   | 10 | 100 | 58 | 40 | 31,5 | 76 | 30 | 8,2 | 20   | 4,5 | 12,3 | 66 |
| GHD 50 | 175 | 48 | 33   | 180 | 200 | 160 | 120 | M8 | 14 | 118 | 150 | 118 | 7,5 | 22   | 10 | 100 | 58 | 44 | 35,5 | 89 | 30 | 8,2 | 20   | 4,5 | 12,3 | 76 |